

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra
C. Schmuker | A. Schneider
(Hrsg.)

Versorgungs- Report

Klima und
Gesundheit



C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.)

Versorgungs-Report



Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.)

Versorgungs-Report

Klima und Gesundheit

mit Beiträgen von

J. Augustin | M. Augustin | D. Bayr | C. Becker | C. Behrens | G. Beydoun | I. Bode
S. Böse-O'Reilly | S. Breitner | S. Castell | I. Danquah | K. Deering | J. Frankenhauser-Mannuß
C. Günster | M. Hasseler | A. Herrmann | E. Hertig | C. Hornberg | V. Huber | H. Klauber
J. Klauber | J. Klenk | N. Koch | K. Kolpatzik | S. Krebs | B. Kuch | M. Liebig-Gonglach
T.P. Liedtke | A.L. Lietz | U. Lindemann | M. Lotto-Batista | A. Ludwig | T. Mc Call | H. Mertes
S. Moebus | M. Pawlitzki | R. Pickford | C. Quartucci | K. Rapp | B.-P. Robra | C. Schmuker
A. Schneider | J. Schoierer | J. Schröder | B. Stephan | C. Traidl-Hoffmann | K. Zok



Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft

© urheberrechtlich geschützt

MWW Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

Das Herausgeber-Team

Dipl.-Math. Christian Günster
Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Qualitäts- und Versorgungsforschung
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Jürgen Klauber
Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Prof. Dr. med. Bernt-Peter Robra, MPH
Institut für Sozialmedizin und Gesundheitssystemforschung
Otto-von-Guericke-Universität
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Caroline Schmuker
Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Qualitäts- und Versorgungsforschung
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Dr. Alexandra Schneider
Helmholtz Zentrum München
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
GmbH
Institut für Epidemiologie
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg

MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Unterbaumstr. 4
10117 Berlin
www.mwv-berlin.de

ISBN 978-3-95466-627-0 (Open Access PDF)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Informationen sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin, 2021

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Im vorliegenden Werk wird zur allgemeinen Bezeichnung von Personen nur die männliche Form verwendet, gemeint sind immer alle Geschlechter, sofern nicht gesondert angegeben. Sofern Beitragende in ihren Texten gendergerechte Formulierungen wünschen, übernehmen wir diese in den entsprechenden Beiträgen oder Werken.

Die Verfasser haben große Mühe darauf verwandt, die fachlichen Inhalte auf den Stand der Wissenschaft bei Drucklegung zu bringen. Dennoch sind Irrtümer oder Druckfehler nie auszuschließen. Daher kann der Verlag für Angaben zum diagnostischen oder therapeutischen Vorgehen (zum Beispiel Dosierungsanweisungen oder Applikationsformen) keine Gewähr übernehmen. Derartige Angaben müssen vom Leser im Einzelfall anhand der Produktinformation der jeweiligen Hersteller und anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Eventuelle Errata zum Download finden Sie jederzeit aktuell auf der Verlags-Website.

Produkt-/Projektmanagement: Susann Weber, Berlin
Lektorat: Monika Laut-Zimmermann, Berlin
Layout & Satz: zweiband.media, Agentur für Mediengestaltung und -produktion GmbH, Berlin

Zuschriften und Kritik an:
MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Unterbaumstr. 4, 10117 Berlin, lektorat@mwv-berlin.de

Die Autorinnen und Autoren

PD Dr. rer. nat. Jobst Augustin

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)
Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und
bei Pflegeberufen (IVDP)
Martinistr. 52
20246 Hamburg

MD Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Augustin

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)
Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und
bei Pflegeberufen (IVDP)
Martinistr. 52
20246 Hamburg

Daniela Bayr, Dipl.-Geografin

Universität Augsburg
Medizinische Fakultät
Lehrstuhl und Hochschulambulanz für Umweltmedizin
Neusässer Str. 47
86156 Augsburg

Prof. Dr. Clemens Becker

Robert-Bosch-Krankenhaus
Abteilung Geriatrie und Klinik für Geriatrische Rehabilitation
Auerbachstr. 110
70376 Stuttgart

Christiane Behrens, M.Sc.

Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung GmbH
Inhoffenstr. 7
38124 Braunschweig

Ghassan Beydoun

Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Qualitäts- und Versorgungsforschung
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Prof. Dr. Ingo Bode

Universität Kassel
Institut für Sozialwesen
Arnold-Bode-Str. 10
34127 Kassel

PD Dr. med. Stephan Böse-O'Reilly

Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Dr. Susanne Breitner

Ludwig-Maximilians-Universität München
IBE-Lehrstuhl für Epidemiologie
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg

Dr. med. Stefanie Castell, M.Sc.

Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung GmbH
Inhoffenstr. 7
38124 Braunschweig

Prof. Dr. Ina Danquah

Heidelberger Institut für Global Health
Arbeitsgruppe Klimawandel, Ernährung und Gesundheit
Im Neuenheimer Feld 324
69120 Heidelberg

Katharina Deering, M.A.

Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Dr. Julia Frankenhauser-Mannuß

AOK Baden-Württemberg
Bereich Rehabilitations- und Pflegeforschung
Presselstr. 19
70191 Stuttgart

Dipl.-Math. Christian Günster

Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Qualitäts- und Versorgungsforschung
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Prof. Dr. rer. medic. habil. Martina Hasseler

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Gesundheitswesen
Robert-Koch-Platz 8a
38440 Wolfsburg

Dr. med. Alina Herrmann

Heidelberger Institut für Global Health
Arbeitsgruppe Klimawandel, Ernährung und Gesundheit
Im Neuenheimer Feld 324
69120 Heidelberg

Prof. Dr. Elke Hertig
Universität Augsburg
Medizinische Fakultät
Alter Postweg 118
86157 Augsburg

Univ.-Prof. Dr. med. Claudia Hornberg
Universität Bielefeld
Medizinische Fakultät OWL/
Fakultät für Gesundheitswissenschaften
Morgenbreede 1
33615 Bielefeld

Dr. Veronika Huber
Universidad Pablo de Olavide (UPO)
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales
Ctra. de Utrera, km. 1
41013 Sevilla
Spanien

Hannah Klauber
Mercator Research Institute on Global Commons and
Climate Change
Torgauer Str. 12–15
10829 Berlin

Jürgen Klauber
Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Prof. Dr. Jochen Klenk, MPH
Robert-Bosch-Krankenhaus
Abteilung Geriatrie und Klinik für Geriatrische Rehabilitation
Auerbachstr. 110
70376 Stuttgart

Dr. Nicolas Koch
Mercator Research Institute on Global Commons and
Climate Change
Torgauer Str. 12–15
10829 Berlin

Prof. Dr. med. Kai Kolpatzik, MPH, EMPH
AOK-Bundesverband
Abteilung Prävention
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Stephanie Krebs, M.Sc.
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Gesundheitswesen
Robert-Koch-Platz 8a
38440 Wolfsburg

Prof. Dr. med. Bernhard Kuch
Stiftungskrankenhaus Nördlingen
Stoffelsberg 4
86720 Nördlingen

Dr. rer. nat. Michaela Liebig-Gonglach, M.Sc. PH
Universität Bielefeld
Medizinische Fakultät OWL
Morgenbreede 1
33615 Bielefeld

Tatjana P. Liedtke, M.Sc. PH
Universität Bielefeld
Medizinische Fakultät OWL
Morgenbreede 1
33615 Bielefeld

Anna Larina Lietz, M.Sc.
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Gesundheitswesen
Robert-Koch-Platz 8a
38440 Wolfsburg

Dr. Ulrich Lindemann
Robert-Bosch-Krankenhaus
Abteilung Geriatrie und Klinik für Geriatrische Rehabilitation
Auerbachstr. 110
70376 Stuttgart

Martin Lotto-Batista, M.Sc.
Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung GmbH
Inhoffenstr. 7
38124 Braunschweig

Dr. Alike Ludwig
Universität Augsburg
Medizinische Fakultät
Lehrstuhl und Hochschulambulanz für Umweltmedizin
Neusässer Str. 47
86156 Augsburg

Dr. PH Timothy Mc Call
Universität Bielefeld
Medizinische Fakultät OWL
Morgenbreede 1
33615 Bielefeld

Hanna Mertes
Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Prof. Dr. rer. nat. Susanne Moebus, MPH

Universitätsklinikum Essen
Institut für Urban Public Health
Hufelandstr. 55
45147 Essen

Dr. Melanie Pawlitzki

Universität Augsburg
Medizinische Fakultät
Lehrstuhl und Hochschulambulanz für Umweltmedizin
Neusässer Str. 47
86156 Augsburg

Dr. Regina Pickford

Helmholtz Zentrum München
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
GmbH
Institut für Epidemiologie
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg

Dr. med. Caroline Quartucci

Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Prof. Dr. Kilian Rapp, MPH

Robert-Bosch-Krankenhaus
Abteilung Geriatrie und Klinik für Geriatrische Rehabilitation
Auerbachstr. 110
70376 Stuttgart

Prof. Dr. med. Bernt-Peter Robra, MPH

Institut für Sozialmedizin und Gesundheitssystemforschung
Otto-von-Guericke-Universität
Leipziger Str. 44
39120 Magdeburg

Caroline Schmuker

Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Qualitäts- und Versorgungsforschung
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Dr. Alexandra Schneider

Helmholtz Zentrum München
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
GmbH
Institut für Epidemiologie
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg

Dr. phil. Julia Schoierer

Klinikum der Universität München
Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und
Umweltmedizin
Ziemssenstr. 1
80336 München

Judith Schröder, M.A.

Universitätsklinikum Essen
Institut für Urban Public Health
Hufelandstr. 55
45147 Essen

MD Dr. med. Brigitte Stephan

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE)
Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und
bei Pflegeberufen (IVDP)
Martinistr. 52
20246 Hamburg

Prof. Dr. med. Claudia Traidl-Hoffmann

Universität Augsburg
Medizinische Fakultät
Lehrstuhl und Hochschulambulanz für Umweltmedizin
Neusässer Str. 47
86156 Augsburg

Klaus Zok

Wissenschaftliches Institut der AOK (WIdO)
Forschungsbereich Gesundheitspolitik/Systemanalysen
Rosenthaler Str. 31
10178 Berlin

Inhalt

Editorial	1
<i>Alexandra Schneider, Christian Günster, Jürgen Klauber, Bernt-Peter Robra und Caroline Schmuker</i>	
I Grundlagen und die globale Bedeutung des Klimawandels für die Gesundheit	7
1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern	9
<i>Veronika Huber</i>	
2 Klimawandel und Gesundheit aus globaler Perspektive – eine Übersicht über Risiken und Nebenwirkungen	23
<i>Alina Herrmann und Ina Danquah</i>	
II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland	39
3 Der Einfluss von Temperatur auf die Mortalität	41
<i>Elke Hertig und Alexandra Schneider</i>	
4 Der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Handlungsansätze und die besondere Herausforderung durch Arzneimittelwechselwirkungen	53
<i>Bernhard Kuch</i>	
5 Individuelle und regionale Risikofaktoren für hitzebedingte Hospitalisierungen der über 65-jährigen in Deutschland	63
<i>Hannah Klauber und Nicolas Koch</i>	
6 Hitzewellen: neue Herausforderungen für die medizinische Versorgung von älteren Menschen	79
<i>Clemens Becker, Jochen Klenk, Julia Frankenhauser-Mannuß, Ulrich Lindemann und Kilian Rapp</i>	
7 Hitzebelastungen im Arbeitssetting: die Sicht der Arbeitsmedizin	89
<i>Julia Schoierer, Hanna Mertes, Katharina Deering, Stephan Böse-O'Reilly und Caroline Quartucci</i>	
8 Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen: Einfluss auf Morbidität und Mortalität	105
<i>Susanne Breitner, Regina Pickford und Alexandra Schneider</i>	

9	Klimawandelbedingte Veränderungen in der UV-Exposition: Herausforderungen für die Prävention UV-bedingter Hauterkrankungen _____	119
	<i>Jobst Augustin, Brigitte Stephan und Matthias Augustin</i>	
10	Der Einfluss des Klimawandels auf die Allergenexposition: Herausforderungen für die Versorgung von allergischen Erkrankungen _____	133
	<i>Alika Ludwig, Daniela Bayr, Melanie Pawlitzki und Claudia Traidl-Hoffmann</i>	
11	Der Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung von Infektionserkrankungen – am Beispiel der Lyme-Borreliose _____	145
	<i>Martín Lotto-Batista, Christiane Behrens und Stefanie Castell</i>	
12	Klimawandel und Gesundheit: Welche Rolle spielt der Klimawandel im Gesundheitsbewusstsein der Befragten? Ergebnisse einer deutschlandweiten Bevölkerungsbefragung _____	157
	<i>Caroline Schmuker, Bernt-Peter Robra, Kai Kolpatzik, Klaus Zok und Jürgen Klauber</i>	
13	Gut für das Klima, gut für die Gesundheit: Perspektiven für individuelle Verhaltensänderungen _____	177
	<i>Timothy Mc Call, Tatjana P. Liedtke, Claudia Hornberg und Michaela Liebig-Gonglach</i>	
III Strukturelle und organisatorische Anpassungen an den Klimawandel _____		189
14	Notwendige Anpassungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung aufgrund hitzebedingter Dehydrationsrisiken _____	191
	<i>Stephanie Krebs, Anna Larina Lietz und Martina Hasseler</i>	
15	Klimasensible Stadtplanung und Stadtentwicklung _____	205
	<i>Judith Schröder und Susanne Moebus</i>	
16	Den Klimawandel bewältigen: Herausforderungen an die institutionelle Organisation des Gesundheitswesens _____	219
	<i>Ingo Bode</i>	
IV Daten und Analysen _____		233
17	Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen _____	235
	<i>Caroline Schmuker, Ghassan Beydoun und Christian Günster</i>	
	Abbildungsverzeichnis _____	263
	Tabellenverzeichnis _____	267
	Sachwortverzeichnis _____	269

Editorial

Alexandra Schneider, Christian Günster, Jürgen Klauber,
Bernt-Peter Robra und Caroline Schmuker

Die COVID-19-Pandemie hat seit Frühjahr 2020 zu massiven Veränderungen unseres Zusammenlebens geführt. Große Anstrengungen zur Bewältigung ihrer Ursache und ihrer Folgen wurden auf den Weg gebracht. In der medialen Wahrnehmung in den Hintergrund getreten ist dagegen die andauernde Klimakrise. Doch sind die weiter zunehmende Erderwärmung und die Häufigkeit von Extremwetterereignissen augenfällige Zeichen eines globalen Veränderungsprozesses, der keine Pause eingelegt hat. Der Klimawandel ist nicht „nur“ ein Umweltphänomen, sondern bringt auch gravierende Folgen für die Gesundheit mit sich – ökologische Krisen werden gesundheitliche Krisen (Barrett et al. 2015). Anders als bei der Virus-pandemie können wir nicht auf Immunität gegenüber dem Klimawandel hoffen. Schwerpunktthema dieser Ausgabe des Versorgungs-Reports sind die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels und die dadurch schon jetzt entstehenden Belastungen, Entwicklungsnotwendigkeiten und offenen Fragen für die medizinische Versorgung in Deutschland.

International besonders sichtbare Beiträge zu den Implikationen des Klimawandels auf die öffentliche Gesundheit und die Gesundheitsversorgung sind die Berichte des „Lancet Countdown on Health and Climate Change“. 2015, im Vorfeld des Pariser Klimaschutzabkommens, brachte die Fachzeitschrift Lancet eine internationale fächerübergreifende Gruppe aus Forschern, Praktikern und Institutionen zusammen. Sie sah die Thematisierung der komplexen Zusammenhänge zwischen Gesundheit und Klimawandel als besonders günstige Gelegenheit an, die Gesundheit der Welt zu verbessern (“the greatest global health opportunity of the 21st century”) (Watts et al. 2017). Inzwischen liegt der Jahresbericht 2020 vor (Watts et al. 2021). Mehrere Beiträge des vorliegenden Bandes beziehen sich auf diese strategische Bestandsaufnahme und ihre programmatischen Implikationen.

Die Gesundheit der Umwelt und die Gesundheit der Menschen sind nicht allein auf globaler Ebene verflochten (Quammen 2020). Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Wet-

ter, Klima und Gesundheit werden durch die Umgebung, in der die Menschen leben, noch verstärkt. Besonders nicht-nachhaltige Städte wirken sich negativ auf die menschliche Gesundheit wie auch auf die Umwelt aus. Wenn allerdings Maßnahmen umgesetzt werden, die sich positiv auf die Gesundheit auswirken, steckt gerade im urbanen Setting immense transformative Kraft, denn Klima-, Gesundheits- und ökonomische Ziele verstärken sich gegenseitig (Triple-win-Situation).

Auch in Deutschland sind umweltbezogene Gesundheitsprobleme zu versorgen. Das Gesundheitswesen muss dieser Querschnittsthematik durch wissenschaftliche Bestandsaufnahme, Strukturentwicklung und Investitionen entsprechen. Investitionen in den Schutz der Umwelt und die Wiederherstellung natürlicher Lebensgrundlagen, z.B. das dafür in Aussicht genommene Programm der EU, sind gleichzeitig Investitionen in Gesundheit. Sie bewirken gemeinsame Nutzen (Cheng u. Berry 2013; Hamilton et al. 2021).

Während die Belastung der Luft mit Schadstoffen in den vergangenen 25 Jahren in Deutschland abnahm, werden nach einer Zusammenfassung des Umweltbundesamtes bei Feinstaub (PM₁₀) und NO₂ noch immer geltende Grenzwerte und Empfehlungen der WHO überschritten (Umweltbundesamt 2021). Perspektivisch bleibt die Temperatur wesentlicher Umweltfaktor von gesundheitlicher Bedeutung. Daher beschäftigen sich die Beiträge vor allem, aber nicht ausschließlich, mit temperaturbedingten Gesundheitsfolgen, ihrer Versorgung und Prävention.

Die Bedeutung dieses Querschnittsthemas für die medizinische Versorgung nimmt zu – durch klimawissenschaftliche Erkenntnisse, medizinischen Fortschritt und versorgungswissenschaftliche Evidenz, aber auch durch einen Wandel des politischen Bewusstseins in der Bevölkerung, nicht zuletzt der Jugend, in Richtung auf Reduktion gesundheitlicher Risiken und Klimaresilienz der gesundheitlichen Versorgung. Die deutsche Ärzteschaft hatte

deswegen bereits für den pandemiebedingt ausgefallenen Ärztetag 2020 einen Schwerpunkt auf Klimawandel als Thema der Ärzteschaft legen wollen (Bobbert 2020; Traidl-Hoffmann 2020).

Der vorliegende Report ist wie folgt aufgebaut:

1. Zum Auftakt stellt Veronika Huber die anthropogene globale Erwärmung mit ihren Determinanten und Folgen für die Umwelt dar. Sie vermittelt auf anschauliche Weise bisherige Erkenntnisse zur Entstehung des Klimawandels und erläutert klimawissenschaftliche Modellierungen zur Abschätzung der zukünftigen Temperaturänderungen. Darauf aufbauend skizziert sie bereits eingetretene und noch zu erwartende gesundheitliche Folgen dieser Veränderungen für Deutschland.

2. Im zweiten Beitrag beschreiben Alina Herrmann und Ina Danquah die aktuellen Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit und die Herausforderungen für die Gesundheitssysteme aus globaler Perspektive. Die Autorinnen nehmen neben den direkten Folgen des Klimawandels auch soziale und ökosystemvermittelte Auswirkungen in den Blick (z.B. Migration und Konflikte) und berichten über internationale Strategien und Maßnahmen zur Förderung klimaresilienter und nachhaltiger Gesundheitssysteme.

3. Die Auswirkungen der Temperatur auf die Mortalität prüfen Elke Hertig und Alexandra Schneider. Physiologische Mechanismen und epidemiologische Evidenz belegen den Zusammenhang von extremen Temperaturen und einer erhöhten Mortalität, der sich mit der demografischen Alterung der Gesellschaft weiter verschärfen wird.

4. Der Einfluss des Klimas auf das Auftreten von Erkrankungen und die medizinische Versorgung beschreibt Bernhard Kuch am Beispiel der Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Er unterstreicht präventive Maßnahmen und Anpassungsstrategien, insbesondere mit Blick auf hitzebedingte Arzneimittelwechselwirkungen.

5. Hannah Klauber und Nicolas Koch setzen AOK-Abrechnungsdaten der über 65-Jährigen mit einer Fülle von Klimadaten in Beziehung. Für Hitzetage ab 30°C quantifizieren sie zusätzliche Krankenhausaufnahmen nach Alter, Geschlecht, Komorbidität, primärärztlicher Versorgungsdichte und Postleitzahlregionen. Sie charakterisieren so hitzevulnerable Bevölkerungsgruppen und Regionen. Die Studie zeigt, dass es große Unterschiede in der regionalen Anfälligkeit gegenüber gesundheitlichen Hitzeschäden gibt, was im Rahmen von lokalen Anpassungsstrategien und Schutzprogrammen berücksichtigt werden muss. Hochrechnungen zeigen, dass ein ungebremster Temperaturanstieg bis 2100 einen deutlichen Anstieg der hitzebedingten Hospitalisierungen erwarten lässt.

6. Clemens Becker, Jochen Klenk, Julia Frankenhauser-Mannuß, Ulrich Lindemann und Kilian Rapp charakterisieren die Auswirkung von Hitzewellen insbesondere auf die Hochrisikogruppe der Pflegebedürftigen. Auch für diesen Beitrag wurden in Kooperation mit der AOK Baden-Württemberg Abrechnungsdaten zur Inanspruchnahme von Leistungen und zur Morbidität ausgewertet. Für eine besser koordinierte medizinische Versorgung und Prävention empfiehlt das Autorenteam eine Einstufung von extremer Hitze als Katastrophenfall und ein aktives Zusammenwirken von hausärztlichen Niedergelassenen und Pflegekassen.

7. Aus Sicht der Arbeitsmedizin beschreiben Julia Schoierer, Hanna Mertes, Katharina Deering, Stefan Böse-O'Reilly und Catarina Quartucci verfügbare Evidenz zu Auswirkungen einer Veränderung der klimatischen Bedingungen auf die Arbeit der Menschen und die zu treffenden individuellen und arbeitsplatzbezogenen Schutzmaßnahmen.

8. Susanne Breitner, Regina Pickford und Alexandra Schneider verknüpfen die gesundheitlichen Belastungen durch Luftschadstoffe mit denen der Lufttemperatur und beschreiben die Interaktionen und Synergien, die hier auftreten können. Zudem wird die Problematik aufge-

zeigt, geeignete präventive Maßnahmen zu wählen, die optimalerweise Benefits für gleichzeitig bestehende Umweltrisiken ergeben.

9. Jobst Augustin, Brigitte Stephan und Matthias Augustin beschreiben Mechanismen und Prognosen zum Einfluss des Klimawandels auf Hautkrankheiten und deren Versorgung. Sie empfehlen auch in Zukunft einen verantwortungsvollen Umgang mit UV-Strahlung.

10. Durch den Klimawandel verändern sich Verbreitung, Menge und Allergenität der Pollen. Die Zunahme extremer Wetterereignisse könnte zu vermehrten Komplikationen für Personen mit Asthma führen. Alika Ludwig, Daniela Bayr, Melanie Pawlitzki und Claudia Traidl-Hoffmann zeigen die steigende Zahl der Menschen mit Allergien in Deutschland und Mitteleuropa und beschreiben, wie diese Entwicklung durch den Klimawandel noch verstärkt wird.

11. Der Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung von Infektionskrankheiten stellen Martín Lotto-Batista, Christiane Behrens und Stefanie Castell am Beispiel der Lyme-Borreliose dar. Sie erläutern, wie der Klimawandel die Bedingungen für die Verbreitung klimasensitiver Zecken verändert, und zeigen am Beispiel der Borreliose-Infektionen präventive Interventionen und Handlungsempfehlungen für Deutschland auf.

12. Welche Rolle der Klimawandel im Gesundheitsbewusstsein der Bevölkerung spielt, haben Caroline Schmucker, Bernt-Peter Robra, Kai Kolpatzik, Klaus Zok und Jürgen Klauber über eine deutschlandweite Online-Befragung erhoben. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass weiterhin deutlicher Informationsbedarf zu den gesundheitlichen Risiken des Klimawandels in der Gesellschaft besteht, insbesondere mit Blick auf Präventions- und Anpassungsmöglichkeiten des Einzelnen.

13. Perspektiven für individuelle Verhaltensänderungen zeigen Timothy Mc Call, Tatjana Patricia Liedtke, Claudia Hornberg und Michaela Liebig-Gonglach auf. Dabei gehen sie auf mögliche gesundheitliche Nebeneffekte von

Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen ein und beleuchten speziell potenzielle „Health-Co-Benefits“ von Klimaschutzinterventionen.

14. Für Anpassungen an hohe Temperaturen in Einrichtungen der Versorgung plädieren Stephanie Krebs, Anna Larina Lietz und Martina Hasseler am Beispiel der Prävention von Dehydratation. Dafür sind gesellschaftliches Verständnis, Qualifizierung, intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit in der medizinischen und pflegerischen Versorgung sowie weitere Forschung mit gesichertem Transfer in die Praxis erforderlich.

15. Eine integrierte klimasensible Stadtentwicklung beschreiben Judith Schröder und Susanne Moebus. Die Autorinnen legen dar, wie Städte sich durch innovative Stadtplanung besser an den Klimawandel anpassen und wie eine nachhaltige Stadtplanung Gesundheitsressourcen stärken und -risiken mindern kann. Sie thematisieren die ungleiche sozialräumliche Verteilung der Belastungen innerhalb der Städte und diskutieren mögliche Konzepte einer urbanen Transformation.

16. Ingo Bode rundet den Kranz der inhaltlichen Beiträge ab mit einer Reflexion über die Herausforderungen des Klimawandels an die Organisation des Gesundheitswesens, die aus seiner Sicht kurzfristige problemorientierte Flexibilität für das reaktive Management akuter Krisen und eine langfristige strukturelle Anpassung des Versorgungsauftrags braucht.

17. In der Sektion „Daten und Analysen“ geben Caroline Schmuker, Chassan Beydoun und Christian Günster wie in früheren Ausgaben des Versorgungs-Reports und unabhängig vom Schwerpunktthema einen Überblick über die Diagnosehäufigkeit von Erkrankungen im Jahr 2018 und die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen auf der Grundlage der Abrechnungsdaten von mehr als 27 Millionen AOK-Versicherten.

Auf weitere angrenzende Themen konnte der Report nach Ausrichtung und Umfang nicht eingehen, z.B. auf spezifische Probleme der klinischen Umweltmedizin, der Umwelt-

toxikologie, der Umweltökonomie, des Katastrophenschutzes, der Friedensforschung, Sicherheitspolitik und Konfliktregulierung als Instrumente auch des Gesundheitsschutzes.

Wir freuen uns, dass wir mit dem Versorgungs-Report „Klima und Gesundheit“ wieder zahlreiche Expertinnen und Experten gewinnen konnten, die mit ihren aktuellen Beiträgen diesen Band erst ermöglicht haben. Besonderer Dank gilt den sachkundigen unabhängigen Reviewerinnen und Reviewern der Beiträge. Dank gilt auch allen Kolleginnen und Kollegen im WiDO, die an der Buchproduktion beteiligt waren, insbesondere an Ghassan Beydoun und Thomas Ruhnke für ihren Beitrag bei der Datenaufbereitung. Nicht zuletzt hat die ausgezeichnete Zusammenarbeit mit der Medizinisch Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft, insbesondere mit der zuständigen Projektmanagerin Susann Weber, wieder entscheidend zum Entstehen des Buches beigetragen.

Ein besonderer Dank geht an Norbert Schmacke, der als Co-Herausgeber aller vorangegangener Ausgaben des Versorgungs-Reports die Reihe mitbegründet und mit großem Engagement zu deren Erfolg beigetragen hat. Die aktuelle Ausgabe ist nun erstmals ohne seine Mitwirkung entstanden.

Das Gesamtwerk sowie die Einzelbeiträge stehen neben der über den Buchhandel beziehbaren Druckfassung auch kostenfrei in elektronischer Form im Online-Angebot des Verlages zur Verfügung. Frühere Ausgaben des Versorgungs-Reports sowie ergänzende elektronische Inhalte finden sich auf der Webseite des WiDO.

Literatur

- Barrett B, Charles JW, Temte JL. Climate change, human health, and epidemiological transition. *Preventive medicine* 2015;70:69–75. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.013>.
- Bobbert P. Klimawandel ist Thema der Ärzteschaft. *Deutsches Ärzteblatt* 2020;117(33–34):A1560.
- Cheng JJ, Berry P. Health co-benefits and risks of public health adaptation strategies to climate change: a review of current literature. *International journal of public health* 2013;58(2):305–11. <https://doi.org/10.1007/s00038-012-0422-5>.

Hamilton I, Kennard H, McGushin A, Höglund-Isaksson L, Kiesewetter G, Lott M, et al. The public health implications of the Paris Agreement: a modelling study. *The Lancet Planetary Health* 2021;5(2):e74–e83. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30249-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30249-7).

Quammen D. *Spillover: Der tierische Ursprung weltweiter Seuchen*. München: Pantheon; 2020.

Traidl-Hoffmann C. *Klima und Gesundheit: Klimaresilienz – Weg der Zukunft*. *Deutsches Ärzteblatt* 2020;117(33–34):A1556–A1558.

Umweltbundesamt. *Entwicklung der Luftqualität, 2021*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/daten-karten/entwicklung-der-luftqualitaet#entwicklung-der-luftqualitaet-in-deutschland>.

Watts N, Adger WN, Ayeb-Karlsson S, Bai Y, Byass P, Campbell-Lendrum D, et al. *The Lancet Countdown: tracking progress on health and climate change*. *Lancet (London, England)* 2017;389(10074):1151–64. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32124-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32124-9).

Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Beagley J, Belesova K, et al. *The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises*. *Lancet (London, England)* 2021;397(10269):129–70. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X).



Dr. Alexandra Schneider

Nach einem Studium der Meteorologie und einem Postgraduiertenstudium zum Master of Public Health arbeitete sie zunächst an der Ludwig-Maximilians-Universität München, um dort anschließend im Fach Humanbiologie zu promovieren. Seit 2010 leitet sie ihre eigene Arbeitsgruppe „Environmental Risks“ am Institut für Epidemiologie des Helmholtz Zentrums München.



Dipl.-Math. Christian Günster

Studium der Mathematik und Philosophie in Bonn. Seit 1990 beim Wissenschaftlichen Institut der AOK (WIdO). Von 2002 bis 2008 Mitglied des Sachverständigenrates nach § 17b KHG des Bundesministeriums für Gesundheit. Leitung des Bereichs Qualitäts- und Versorgungsforschung. Mit-herausgeber des Versorgungs-Reports. Arbeitsschwerpunkte sind Methoden der Qualitätsmessung und Versorgungsanalysen mittels Routedaten.



Jürgen Klauber

Studium der Mathematik, Sozialwissenschaften und Psychologie in Aachen und Bonn. Seit 1990 im Wissenschaftlichen Institut der AOK (WIdO) tätig. 1992–1996 Leitung des Projekts GKV-Arzneimittelindex im WIdO, 1997–1998 Leitung des Referats Marktanalysen im AOK-Bundesverband. Ab 1998 stellvertretender Institutsleiter und ab 2000 Leiter des WIdO. Inhaltliche Tätigkeitsschwerpunkte: Themen des Arzneimittelmarktes und stationäre Versorgung.



Prof. Dr. med. Bernt-Peter Robra, MPH

Epidemiologe und Sozialmediziner, von 1992 bis 2018 Direktor des Instituts für Sozialmedizin und Gesundheitsökonomie der Universität Magdeburg.



Caroline Schmuker

Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg. Weiterqualifikation im Fachbereich Epidemiologie an der London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM). Berufliche Stationen: 2009 bis 2011 Trainee am Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDO) im Bereich Gesundheitspolitik und Systemanalysen, zwischen 2012 und 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IGES Institut Berlin. Seit November 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Qualitäts- und Versorgungsforschung am WiDO.



Grundlagen und die globale Bedeutung des Klimawandels für die Gesundheit

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

Veronika Huber

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-1, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

In diesem einleitenden Kapitel liegt der Schwerpunkt auf den Umweltfolgen des Klimawandels, mit denen die Bevölkerung in Deutschland bereits konfrontiert ist. Es wird dargestellt, inwieweit beobachtete Veränderungen auf den Klimawandel zurückzuführen sind und welche Szenarien es für die Zukunft gibt. Dabei werden sowohl Extremereignisse (Hitzewellen, Dürren, Starkregenfälle, Stürme, Waldbrände) als auch schleichende Veränderungen (abnehmende Schneebedeckung, Meeresspiegelanstieg) mit einem besonderen Augenmerk auf gesundheitsrelevante Auswirkungen berücksichtigt. Dieser Darstellung vorausgestellt ist eine allgemeine Einführung zum anthropogenen Klimawandel, die neben einigen grundlegenden Fakten auch aktuelle Forschungsergebnisse aufgreift.

This introductory chapter portrays some of the climate change impacts most relevant to the environment and the living conditions of the German population. Impacts are discussed in terms of recent changes attributable to climate change and future changes to be expected according to climate change scenarios, including possible health implications of the mentioned impacts. Both extreme events (heat waves, droughts, heavy rainfall, storms, forest fires) and slow-onset events (decreasing snow cover, sea level

rise) are taken into account. The chapter starts with a short presentation of the key facts of anthropogenic climate change, taking up recent findings in climate research.

1.1 Grundlagen des Klimawandels

1.1.1 Globale Erwärmung und ihre Ursachen

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts ist die globale Mitteltemperatur um etwa 1,2°C angestiegen. In Deutschland betrug die Erwärmung im gleichen Zeitraum sogar 2°C – wenn man einen nicht-linearen Trend zugrunde legt (s. Abb. 1; Rahmstorf 2020). Da sich Landmassen schneller erwärmen als die Ozeane, ist das nicht überraschend. Verantwortlich für die Erwärmung sind die durch den Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen (insbesondere CO₂, Methan, Lachgas und troposphärisches Ozon). Es gibt selbstverständlich auch natürliche Einflussfaktoren, die das Klima der Erde vor dem Auftreten des Menschen als geologische Kraft – das heißt vor dem Eintritt in das

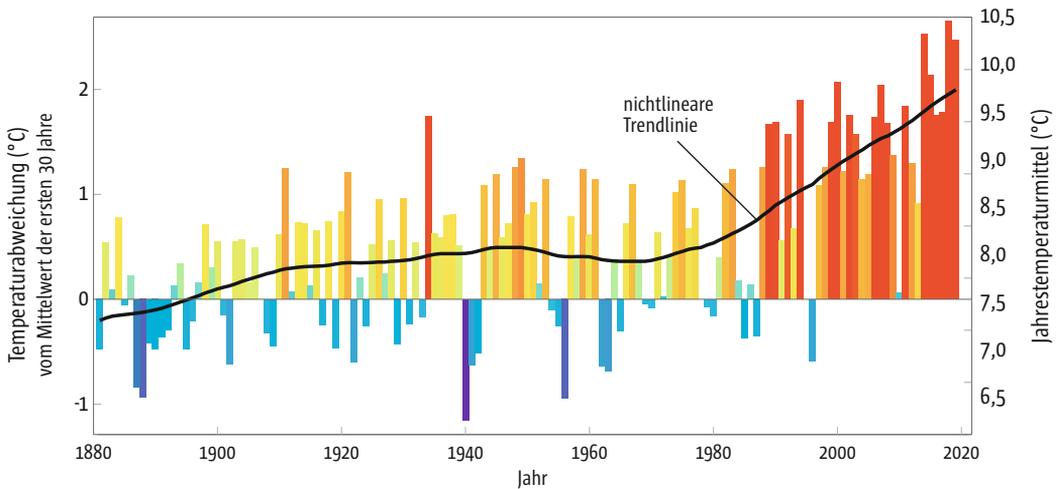


Abb. 1 Jährliche Temperaturmittelwerte in Deutschland seit 1881 (Rahmstorf 2020, Creative Commons-Lizenz CC BY-SA 2.0, Daten: opendata.dw.de)

Erdzeitalter des Anthropozän (Crutzen 2002) – maßgeblich gesteuert haben. Dazu gehören insbesondere Veränderungen in der Erdumlaufbahn, die Auslöser von Eiszeiten waren, Schwankungen in der Sonnenaktivität, Vulkanausbrüche und natürliche Veränderungen der Treibhausgaskonzentrationen der Atmosphäre. Es ist jedoch wissenschaftlich bestens untersucht und verstanden, dass alle diese natürlichen Klimaeinflussfaktoren keinen nennenswerten Einfluss auf die globale Erwärmung der letzten hundert Jahre hatten.

1.1.2 Die erdgeschichtliche Perspektive

Um sich die Tragweite des menschengemachten Klimawandels vor Augen zu führen, ist es hilfreich, einen Blick in die planetare Vergangenheit zu werfen. Durch die Analyse winziger Luftbläschen, eingeschlossen im ‚ewigen‘ Eis Grönlands und der Antarktis, können Wissenschaftler die CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre bis weit in die Vergangenheit hinein rekonstruieren. Hier zeigt sich, dass die aktuellen CO₂-Konzentrationen wie eine Speerspitze

aus dem Bereich herausragen, in dem sie während der letzten 800.000 Jahren oszillierten (s. Abb. 2). Neuere Studien zeigen, dass die heutigen CO₂-Konzentrationen höher sind als während der vergangenen 2 Mio. Jahre (Yan et al. 2019).

Auch die aktuelle Entwicklung der globalen Mitteltemperatur ist auf Zeitskalen, die für den modernen Menschen relevant sind, beispiellos (s. Abb. 3). Seit Ende der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren, als schätzungsweise unter einer Million Menschen die Erde besiedelten, stiegen die globalen Temperaturen über einen Zeitraum von mehreren tausenden Jahren um 3–4°C an. Das gesamte Zeitalter des Holozäns, in dem die Menschen sesshaft wurden und die menschliche Zivilisation ihren Ausgangspunkt nahm, war geprägt von einem sehr stabilen Klimaregime. Der anthropogene Klimawandel katapultiert die Menschheit heute in eine nie gesehene ‚Heißzeit‘, in einer Geschwindigkeit welche die eiszeitlichen Temperaturschwankungen um Größenordnungen übersteigt. Nach neuesten Schätzungen erreichten die Temperaturen zum letzten Mal das heutige Niveau in der letzten Zwischeneiszeit vor etwa 125.000 Jahren, noch

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

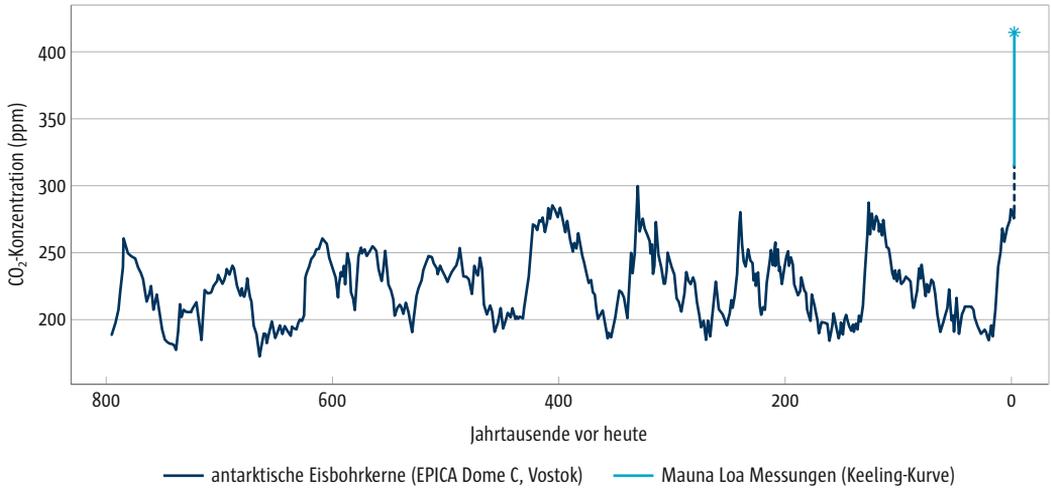


Abb. 2 CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre, rekonstruiert aus Eisbohrkerndaten und gemessen seit den späten 1950er-Jahren an der Station Mauna Loa auf Hawaii. Im Jahr 2020 betrug die Konzentration im Jahresdurchschnitt etwa 414 ppm (engl. parts per million) und war damit 48% höher als der Wert vor Beginn der industriellen Revolution. (Daten: Mauna Loa Messstation; <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>; Eisbohrkerne: <https://www.co2.earth/co2-ice-core-data>)

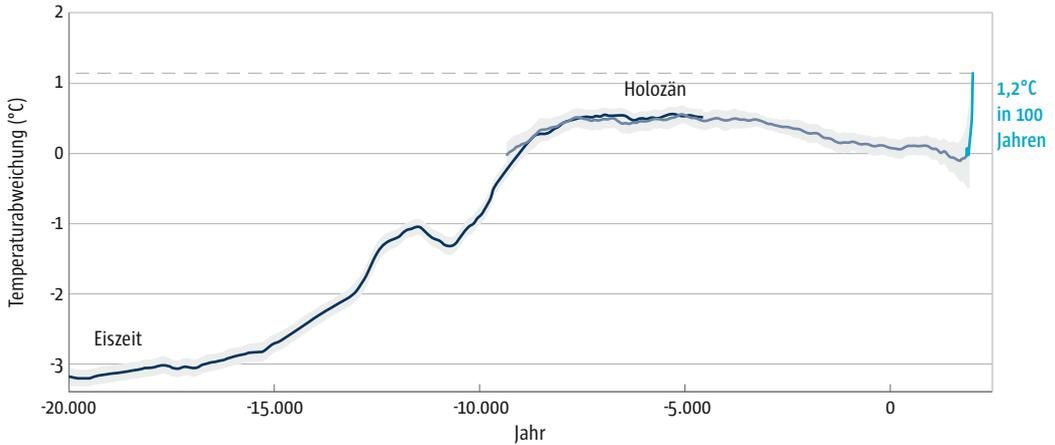


Abb. 3 Globale Mitteltemperatur seit dem Ende der letzten Eiszeit bis heute als Abweichung vom vorindustriellen Mittel (Stefan Rahmstorf, Daten: Shakun et al. 2012; Marcott et al. 2013; NASA GISTEMP bis 2019)

bevor sich der moderne Mensch *homo sapiens* von Afrika aus über die ganze Welt verbreitete (Bova et al. 2021). Eine Erwärmung um 2 bis 3°C bis Ende des Jahrhunderts (s. Kap. 1.1.3) würde die Welt in einen Temperaturbereich versetzen,

wie er erdgeschichtlich zum letzten Mal im Pliozän vor 3–4 Millionen Jahren aufgetreten ist, bevor die Vorfahren des modernen Menschen zum ersten Mal Werkzeuge in die Hand nahmen.

Exkurs 1: Die CO₂-Badewanne oder warum die CO₂-Emissionen auf (netto) Null gesenkt werden müssen

Zentral für das aktuelle Klimageschehen ist, dass die Höhe des CO₂-bedingten Temperaturanstiegs im direkten Zusammenhang mit der kumulativen Gesamtmenge an CO₂ steht, das durch menschliche Aktivitäten zusätzlich emittiert wurde (Allen et al. 2009). Veranschaulichen lässt sich das am besten mit dem Bild der Badewanne, in die immer mehr CO₂ fließt, ohne dass die Natur – zumindest auf für den Menschen relevanten Zeitskalen – einen Ausflussmechanismus vorgesehen hätte. Je höher der Pegel in der CO₂-Badewanne, desto stärker der Anstieg der globalen Mitteltemperatur. Diese kritische Eigenschaft des Klima- und Erdsystems hat eine entscheidende Folge für die Begrenzung der globalen Erwärmung. Mittelfristig – und umso schneller desto ambitionierter die Klimaziele – müssen die fossilen CO₂-Emissionen auf (netto) Null fallen, um die globale Mitteltemperatur auf einem bestimmten Niveau zu stabilisieren. Die Zahl Null steht hier für die enorme Herausforderung, das gesamte System der Energieversorgung, des Transports, der Landwirtschaft radikal so zu verändern (Rockström et al. 2017), dass netto keine (!) Treibhausgasemissionen mehr entstehen. Nicht zu vermeidende Emissionen müssen durch massive Aufforstungen und andere Maßnahmen, die der Atmosphäre CO₂ entziehen, kompensiert werden. Keine dieser sogenannten Sequestrierungs-Technologien steht jedoch derzeit in der benötigten Größenordnung zur Verfügung (Minx et al. 2018).

1.1.3 Zukunftsprojektionen

Um Aussagen über die mögliche zukünftige Entwicklung der globalen Erwärmung und der Klimafolgen machen zu können, greift die Klimawissenschaft üblicherweise auf einen Satz von definierten Zukunftsszenarien zurück. Diese Szenarien werden von der wissenschaftlichen Gemeinschaft in regelmäßigem Abstand erneuert und weiterentwickelt. Ziel ist es, konsistente und vergleichbare Ergebnisse zu produzieren, insbesondere auch im Hinblick auf die etwa alle

sechs Jahre erscheinenden Sachstandsberichte des Weltklimarats. Die derzeit benutzten Szenarien für die Emission und Konzentration von Treibhausgasen heißen Repräsentative Konzentrationspfade (engl. Representative Concentration Pathways – RCPs). In aktuellen Studien zu Klimafolgen werden überwiegend vier Pfade betrachtet, die zentrale Elemente des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarats von 2014 waren (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5).

Übersetzt in Temperaturveränderungen spannen sie ein Möglichkeitsfeld auf, das im Mittel von unter 2°C bis 5°C Erwärmung über vorindustrielles Niveau bis Ende des Jahrhunderts reicht (s. Abb. 4). Dabei entspricht der Pfad mit der niedrigsten Erwärmung einem Szenario ambitionierter Emissionsminderung im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen, während der Pfad stärkster Erwärmung einem Szenario entspricht, der die Tendenz vergangener Emissionsentwicklung ohne Klimaschutzbemühungen fortschreibt. Analysen, die Klimaschutzziele der Staaten berücksichtigen, kommen zu dem Schluss, dass der derzeit eingeschlagene Emissionspfad in der Mitte des Szenarienraums liegt und eine Erwärmung von etwa 3°C bis Ende des Jahrhunderts mit sich bringen würde (Climate Action Tracker 2020). Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass nach dem üblicherweise betrachteten Zeithorizont bis 2100 eine weitere Erwärmung folgen könnte – ob durch noch nicht vollständig reduzierte Treibhausgasemissionen oder durch selbstverstärkende Prozesse im Erdsystem (vgl. Exkurs 2).

Neben den RCP-Szenarien gibt es auch noch eine weitere Szenariengruppe, die sogenannten SSP-Szenarien (engl. Shared Socioeconomic Pathways) (Riahi et al. 2017), die in größerer Detailtiefe auch mögliche demografische, technologische und sozioökonomische Entwicklungen der Zukunft beschreiben. Für den 6. Sachstandsbericht des Weltklimarats, der in Kürze erscheinen wird, wurden die RCP- mit den SSP-Szenarien so verknüpft, dass Analysen zukünftiger Entwicklungen möglich werden, welche

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

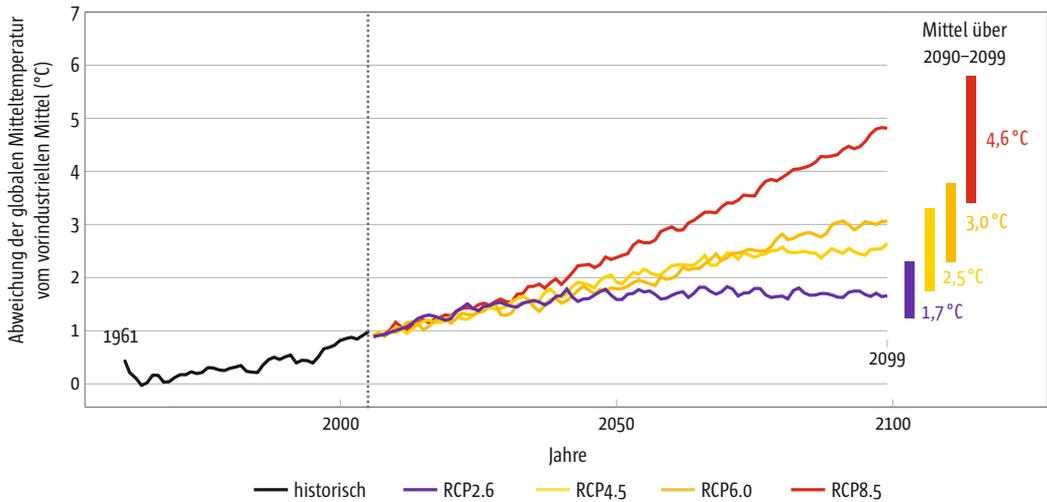


Abb. 4 Szenarien der globalen Erwärmung bis 2100. Dargestellt ist die von Klimamodellen simulierte globale Mitteltemperatur als Abweichung vom vorindustriellen Niveau. (Daten: ISIMIP2b; <https://www.isimip.org/protocol/#isimip2b>)

die physikalischen und sozioökonomischen Dimensionen des Klimawandels in kohärenter Weise zusammenführen (O'Neill et al. 2016).

Exkurs 2: Könnte es schlimmer kommen als bisher vorhergesagt?

Dynamische Klima- und Erdsystemmodelle sind die besten verfügbaren Werkzeuge der Wissenschaft, um abzuschätzen, wie sich die globale Erwärmung in Zukunft entwickeln könnte. In jüngster Zeit wurde vermehrt diskutiert, ob diese Modelle die Erwärmung bedeutend unterschätzen könnten. Im Zentrum dieser Diskussion steht die sogenannte Klimasensitivität, die angibt, welche Temperaturänderung auf lange Sicht bei einer Verdopplung der CO_2 -Konzentrationen über vorindustrielles Niveau zu erwarten ist. Aufgeworfen wurde die Diskussion, weil die neueste Generation von Klima- und Erdsystemmodellen tendenziell eine höhere Klimasensitivität zeigen als die bis dahin bestehende beste Schätzung. Größter Unterschied zwischen den Modellen der neuesten und älteren Generation ist eine Verbesserung der Darstellung der Wolkendynamik, die in ihrem Verständnis weiterhin mit hohen Unsicherheiten behaftet

ist (Zelinka et al. 2020). Die bestehende Evidenz paläoklimatischer Studien (Rohling et al. 2012) und neueste Abschätzungen zur Fähigkeit der aktuellen Modelle, vergangene Klimaentwicklungen korrekt abzubilden (Tokarska et al. 2020), sprechen aber gegen die notwendige Korrektur der Klimasensitivitätsabschätzung nach oben – und stellen also eine gewisse Entwarnung dar. Wichtig in dieser Diskussion ist jedoch, nicht aus den Augen zu verlieren, dass es weiterhin blinde Flecken in den Modellen gibt, und dass die menschengemachte Erwärmung selbstverstärkende Prozesse in Gang setzen könnte (z.B. Austreten von Methan aus tauenden Permafrostböden, Veränderung in der Ozeanzirkulation), die unabhängig vom direkten Ausstoß von Treibhausgasen durch den Menschen den Erwärmungsprozess weiter beschleunigen könnten (Steffen et al. 2018).

1.2 Gesundheitsrelevante Folgen des Klimawandels in Deutschland

Extreme Trockenheit, vermehrte Starkregenereignisse, häufigere Hitzewellen und vermehrt auftretende Waldbrände sind Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels, die

wir – auch in Deutschland – schon zu spüren bekommen. Im Hauptteil dieses Kapitels soll beleuchtet werden, welchen Einfluss der Klimawandel auf Extremereignisse und schleichende Veränderungen dieser Art schon heute hat und welche Abschätzungen es für die Zukunft gibt. Hierbei können natürlich nicht alle denkbaren Folgen des Klimawandels genannt werden. Auswahlkriterien sind die Relevanz der Klimafolgen für die Gesundheit der Bevölkerung und der Bezug zu Deutschland, wobei jedoch auch die europäische und globale Ebene miteinbezogen wird.

1.2.1 Extremereignisse

Hitzewellen

Ende Juli 2019 trat im Westen Deutschlands eine nie dagewesene Hitzewelle auf. Im Höhepunkt der Hitzewelle wurden an 25 Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes über 40°C gemessen (Bissolli et al. 2019). In den Nachbarländern Belgien und Niederlande wurden zum ersten Mal seit Beginn der Wetteraufzeichnungen Temperaturen über 40°C erreicht. Eine formale Zuschreibungsstudie (vgl. Exkurs 3) kommt zu dem Schluss, dass diese extreme Hitzewelle ohne den Einfluss des anthropogenen Klimawandels sehr unwahrscheinlich gewesen wäre (Vautard et al. 2020). Oder anders ausgedrückt: Ein Ereignis dieser Art wäre in einem unveränderten Klima 1,5 bis 3°C kühler ausgefallen. Damit reiht sich diese Hitzewelle in eine ganze Reihe von europäischen Hitzewellen ein – angefangen mit dem denkwürdigen Hitzesommer von 2003 – die allesamt durch den anthropogenen Klimawandel wahrscheinlicher und stärker geworden sind (Stott et al. 2004; Barriopedro et al. 2011).

Exkurs 3: Ist der Klimawandel schuld?

Extremereignisse sind immer ein Produkt der Zufälligkeit des Wettergeschehens und des vorherrschenden Klimas. Deswegen lassen sich Einzelereignisse wie eine bestimmte Hitzewelle oder ein aufgetretener Sturm nie allein auf den menschengemachten Klimawandel zurückführen. Durch lange Beobachtungsreihen und durch Modellsimulationen lässt sich jedoch die Zufälligkeit des Wetters zusammen mit dem Klima statistisch beschreiben. Damit wird es dann möglich, in sogenannten Zuschreibungsstudien (engl. detection & attribution) Aussagen über den Einfluss des menschengemachten Klimawandels auf die Häufigkeit und die Stärke von Extremereignissen zu machen. Interessanterweise gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass der menschengemachte Klimawandel, beispielsweise durch Beeinträchtigung des atmosphärischen Jetstream (Mann et al. 2017), auch das Wettergeschehen verändert. Dies ist ein aktuelles Thema der Klimaforschung und könnte in Bezug auf Extremereignisse noch für manche Überraschung sorgen.

Bei fortschreitendem Klimawandel ist für die Zukunft zu erwarten, dass in Deutschland häufigere, längere und stärkere Hitzewellen auftreten. Für ein moderates Szenario, das einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur von etwa 3°C bis Ende des Jahrhunderts vorhersehen, kommt eine Studie unter Federführung des Deutschen Wetterdienstes zu dem Schluss, dass Hitzewellen dreimal häufiger auftreten, 25% länger andauern und etwa 1°C wärmer ausfallen werden (Zacharias et al. 2015). Eine andere Studie findet, dass sich die Anzahl der Hitzewellentage in Deutschland schon bis Mitte des Jahrhunderts (2021–2050) verdrei- bis sechsfachen könnte und dass Hitzewellen zum Ende des Jahrhunderts 3°C bis 4°C wärmer ausfallen könnten (Fischer u. Schär 2010). Eine Zunahme und Verstärkung von Hitzewellen dieser Größenordnung stellt ein signifikantes Gesundheitsrisiko dar, insbesondere in Bezug auf die mögliche Erhöhung von hitzebedingter Morbidität und Mortalität (s. Kap. 3 u. 4).

Dürren

Im dritten Jahr in Folge war Deutschland im Sommer 2020 von starker Trockenheit betroffen. Karten des vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung betriebenen Dürremonitors weisen im September 2020 weite Teile des Landes als ungewöhnlich trocken aus (s. Abb. 5). Bisher gibt es keine wissenschaftliche Studie, die den Anteil des menschengemachten Klimawandels am Ausmaß dieser Dürre beziffert. Jedoch zeigt eine aktuelle Studie die Ungewöhnlichkeit der 2-Jahres-Dürre 2018–2019: Nie in den letzten 250 Jahren wurde eine Dürre dieses Ausmaßes in den betroffenen Teilen Zentral-

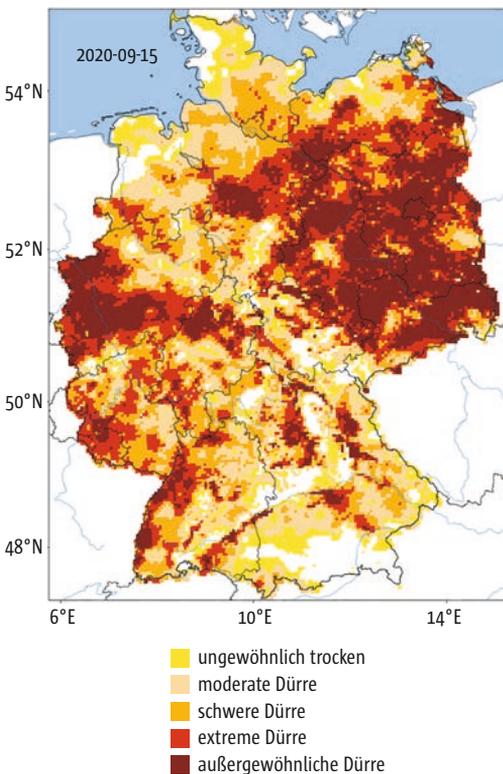


Abb. 5 Dürrezustand Gesamtboden bis ca. 1,8 m in Deutschland am 15. September 2020 (UFZ-Dürremonitor/Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung; <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>)

europas beobachtet (Hari et al. 2020). Für die Zukunft wird insbesondere für ein starkes Erwärmungsszenario (RCP8.5, s. Kap. 1.1.3) eine bedeutende Zunahme von Dürreereignissen dieser Art und der betroffenen Landesflächen projiziert. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass Trockenheit und Dürre in Zentraleuropa stärker zunehmen könnten als die meisten Klimamodelle bisher annehmen (Orth et al. 2016). Mögliche direkte Gesundheitsauswirkung von Dürren in Deutschland ist eine Zunahme von Staubpartikeln in der Luft, deren gesundheitsschädliche Wirkung insbesondere in Bezug auf Wüstenstaub nachgewiesen wurde (Stanke et al. 2013; Giannadaki et al. 2014). Zudem gibt es Hinweise darauf, dass Starkregen (s. folgender Abschnitt) besonders dann das Risiko von wasserübertragenen Infektionskrankheiten erhöht, wenn eine trockene Periode vorausgegangen ist (Setty et al. 2018).

Starkregen

Weil in einem wärmeren Klima mehr Wasser verdunstet und weil wärmere Luft mehr Wasserdampf halten kann, ist zu erwarten, dass die Niederschläge durch den menschengemachten Klimawandel insgesamt zunehmen – wohlge­merkt jedoch nicht räumlich und zeitlich gleichverteilt. Zusätzlich konnte man nachweisen, dass konvektive lokal begrenzte Extremniederschläge – wie sie häufig im Zusammenhang mit Gewittern auftreten – durch den Klimawandel in Deutschland wie in anderen Teilen der Welt bereits überproportional stark zugenommen haben (Berg et al. 2013). Dieser Typ Starkregenereignis stellt für die Bevölkerung ein besonders großes Risiko dar, weil er schlecht präzise vorherzusagen ist (Fuchs u. Becker 2020) und zu Sturzfluten führen kann – wie geschehen z.B. im Frühsommer 2016 in Braunsbach, als das Dorf infolge eines extremen Starkregens (> 70 Liter pro m² innerhalb einer Stunde) mit einer Lawine aus Geröll und Schlamm überrollt wurde. Für die Zukunft wird generell eine Zu-

nahme der Häufigkeit und der Heftigkeit von Starkregenereignissen erwartet – entsprechend der oben genannten thermodynamischen Zusammenhänge (Cardell et al. 2020). Jedoch sind zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Projektionen weiterhin mit hohen Unsicherheiten behaftet, weil insbesondere dynamische Prozesse des Wettergeschehens in den Klimamodellen nur ungenügend abgebildet sind und das Niederschlagsgeschehen stark von der natürlichen Variabilität des Klimas getrieben wird (Pfahl et al. 2017). Starkregenereignisse stellen in verschiedener Hinsicht ein Gesundheitsrisiko dar. Neben der direkten Gesundheitsgefährdung durch Überflutungen und Sturzfluten gibt es zum Beispiel auch in hoch entwickelten Ländern stichhaltige Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Starkregen und dem vermehrten Auftreten von gastrointestinalen Infektionen (Jagai et al. 2015; Herrador et al. 2016).

Stürme

Nach einem starken Wintersturm, der über Deutschland hinwegfegt, kommt immer wieder die Frage auf, ob solche Stürme durch den Klimawandel häufiger und stärker geworden sind. Zunächst lässt sich festhalten, dass die Datenlagen bezüglich historischen Trends in Sturmhäufigkeiten über dem Nord-Atlantik und dem Nordwesten Europas sehr uneindeutig ist. Je nach Auswertungszeitraum und Datenquelle finden verschiedene Studien eine Abnahme, eine Zunahme oder keinen Trend in der Anzahl der Stürme (Feser et al. 2015). Für die Zukunft weisen Modelle tendenziell eine Zunahme der Stärke der Winterstürme aus, obwohl dies nicht für alle Teile Europas gilt (Feser et al. 2015; Mölter et al. 2016). Für tropische Wirbelstürme gibt es inzwischen klare Indizien, dass sie über die letzten Jahrzehnte klimawandelbedingt stärker geworden sind (Kossin et al. 2020). Interessanterweise weisen Modellrechnungen darauf hin, dass auch Westeuropa

durch den Klimawandel häufiger durch hurrikanartige Stürme betroffen sein könnte, die ihren Ursprung in tropischen Wirbelstürmen haben (vgl. Exkurs 4). Mit einer generellen Zunahme von Gewittern unter fortschreitendem Klimawandel könnten auch assoziierte lokal auftretende Windböen bis zum Ende des Jahrhunderts zunehmen (Rädler et al. 2019).

Exkurs 4: Hurrikane in Europa?

Am 18. September 2020 traf der subtropische Sturm Alpha auf die Küste Portugals (s. Abb. 6). Der Sturm löste zwei Tornados in Portugal aus, führte zu Überschwemmungen, erheblichem Sachschaden und tötete einen Menschen. Klimatologisch stellte der Sturm ein historisches Ereignis dar. Seit modernen Aufzeichnungen hatte es vorher überhaupt nur einen anderen tropischen Sturm gegeben, der auf das europäische Festland ge-

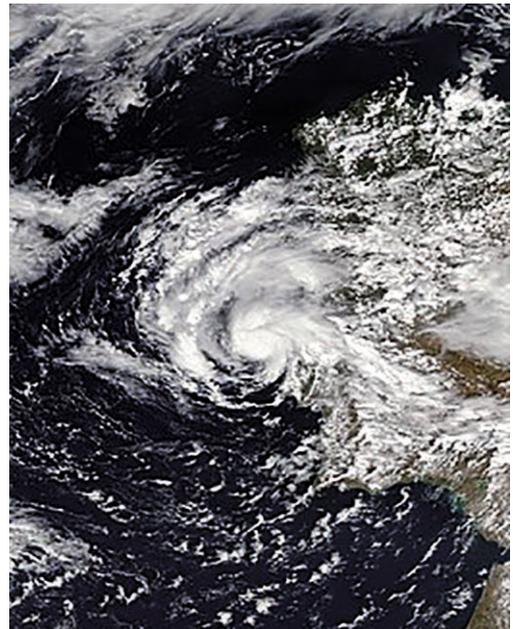


Abb. 6 Satellitenbild des subtropischen Sturms Alpha, der am 18. September 2020 auf die Küste Portugals traf. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpha_2020-09-18_1305Z.jpg)

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

troffen war (Hurrikan Vince 2005). In der rekordverdächtigen Hurrikan-Saison 2020 musste man sich zum zweiten Mal in der Geschichte des griechischen Alphabets bedienen, um alle auftretenden Wirbelstürme noch benennen zu können. Noch nie war zudem ein tropischer Wirbelsturm aufgezeichnet worden, der seinen Ursprung so weit östlich im Atlantik hatte. Dies entspricht exakt der Vorhersage von Modellstudien, die zeigen, dass sich durch den Klimawandel die warmen Meeresoberflächentemperaturen, die eine Voraussetzung für die Entstehung tropischer Wirbelstürme sind, in den östlichen Atlantik ausdehnen (Haarsma et al. 2013). Auf Basis dieser Studien kommen die Autoren zu dem Schluss, dass heftige Stürme, die ihren Ursprung in tropischen Wirbelstürmen haben, eine ernsthafte Bedrohung für die Küsten Westeuropas werden könnten.

Waldbrände

Die Dürrejahre 2018 und 2019 gingen in Deutschland mit einer vergleichsweise erhöhten Anzahl von Waldbränden und insbesondere einer größeren abgebrannten Fläche einher (UBA 2020). Bei der Entstehung von Waldbränden spielen klimaunabhängige Einflussfaktoren, wie die vorherrschenden Vegetationstypen und menschliches Fehlverhalten als Brandauslöser, eine wichtige Rolle. Heiße und trockene Witterungsbedingungen erhöhen jedoch nachweislich das Waldbrandrisiko. Eine 2019 veröffentlichte Studie konnte zeigen, dass der anthropogene Klimawandel schon heute auf gut 20% der potenziell brennbaren Landfläche der Erde Wetterlagen befördert, die Waldbrände wahrscheinlicher machen (Abatzoglou et al. 2019). Auch für Deutschland zeigen die genutzten Klimamodelle ein deutliches Signal des Klimawandels bezüglich Feuer befördernder Witterungsbedingungen ab den 2020er-Jahren. Jüngste Waldbrände von nie gesehener Intensität und Größe wie zuletzt in Australien, Sibirien und Kalifornien zeichnen das Bild eines durch den Klimawandel erhöhten Feuer-Risikos (Jones et al. 2020). Bis Ende des Jahrhunderts könnten Waldbrände in Europa, die heu-

te flächenmäßig ein Jahrhundert-Ereignis darstellen, alle 5 bis 50 Jahre auftreten (Forzieri et al. 2017). Insbesondere für Südeuropa wird bei einer globalen Erwärmung von 2°C bis 3°C eine deutliche Zunahme der von Waldbränden betroffenen Fläche projiziert, sogar wenn in den Modellen Anpassungsmechanismen im Feuermanagement und in der Vegetation berücksichtigt werden (Turco et al. 2018). Waldbrände stellen in verschiedener Hinsicht ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung dar. Neben dem akuten Risiko, dem insbesondere Anwohner und die Feuerwehr ausgesetzt sind, sind hier die waldbrandassoziierte Luftverschmutzung mit gut dokumentierten Auswirkungen auf Morbidität und Mortalität (s. Kap. 8) und psychologische Effekte zu nennen, die sich zum Teil erst nach Jahrzehnten manifestieren (Xu et al. 2020).

1.2.2 Schleichende Veränderungen

Weniger Frost und Schnee

Nach Analysen des Deutschen Wetterdienstes war der Winter 2019/2020 mit einer mittleren Temperatur von gut 4°C über dem langjährigen Mittel der zweitwärmste seit Beginn regelmäßiger Temperaturaufzeichnungen in Deutschland. Damit fügt sich dieser Winter in einen langfristigen Trend wärmerer Winter in Deutschland mit weniger Frost und Schnee ein. Im Zeitraum 1991–2018 nahm zum Beispiel die mittlere Zahl der Eistage (definiert als Tage, an denen die Lufttemperatur ununterbrochen unter 0°C bleibt) in Deutschland von 28 auf 19 Tage pro Jahr ab (Klimafakten 2020). Gemittelt über eine große Anzahl von Wetterstationen verringerte sich die Anzahl der Schneetage (definiert als Tag, an dem am Morgen mindestens 1 cm Schnee liegt) um einen halben Tag pro Jahr über die letzten Jahrzehnte (Kreyling u. Henry 2011). Bis zum Ende des Jahrhunderts ist bei fortschreitendem Klimawandel zu erwarten, dass weite Teile Deutschland regelmäßig

keinen Schnee mehr erleben werden (Jylhä et al. 2008); vgl. Exkurs 5). Über Satelliten lässt sich die abnehmende Schneebedeckung seit den 1970er-Jahren in der gesamten nördlichen Hemisphäre aus dem All beobachten (Bormann et al. 2018). Veränderungen in der Schneebedeckung und in der Anzahl von Frosttagen können direkte gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung mit sich bringen. So wird beispielsweise die geografische Ausbreitung von krankheitsübertragenden Zecken in Europa mit milderem Winter in Zusammenhang gebracht. Auch für die Verbreitung anderer Krankheitsvektoren, wie beispielsweise der Asiatischen Tigermücke, spielen winterliche Witterungsbedingungen eine wichtige Rolle.

Exkurs 5: Zukunft ohne „weiße Weihnachten“?

Jedes Jahr aufs Neue hoffen viele Menschen in Deutschland auf „weiße Weihnachten“. Die Frage stellt sich, ob der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit „weißer Weihnachten“ bereits verringert hat und ob wir in Zukunft dauerhaft „grüne Weihnachten“ erleben werden. Dazu

gibt es keine ausführliche wissenschaftliche Untersuchung für Deutschland oder andere Länder Zentraleuropas. Die Abbildung 7 zeigt exemplarisch die mittlere Tagestemperatur am 24. Dezember jeden Jahres aufgezeichnet seit 1950 durch die Messstation des Deutschen Wetterdienstes in Berlin-Dahlem. Aus den Daten lässt sich ein signifikanter Erwärmungstrend ($p < 0,05$) von etwa einem halben Grad pro Dekade ablesen. Es zeigt sich zudem, dass „weiße Weihnachten“ auch in den 1950er- bis 1980er-Jahren eher die Ausnahme als die Regel war, mit nur etwa einem Drittel der Jahre, in denen am 24. und/oder 25. Dezember Schnee gefallen ist. Die große Zufallskomponente in der Schneefallhäufigkeit zu einem bestimmten Datum lässt mit begrenzter Datenlage keine Aussage über den Einfluss des Klimawandels auf die Wahrscheinlichkeit „weißer Weihnachten“ zu. Die Daten zeigen jedoch, dass die Häufigkeit „weißer Weihnachten“ in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums in Berlin im Vergleich zur ersten Hälfte abgenommen hat – wie angesichts des Erwärmungstrends zu erwarten war. Entsprechend der Schneeprojektionen unter Klimawandel für Deutschland (Kreyling u. Henry 2011) kann man davon ausgehen, dass „weiße Weihnachten“ in der Zukunft zunehmend zu einem extrem seltenen Ereignis wird. In diesem Zu-

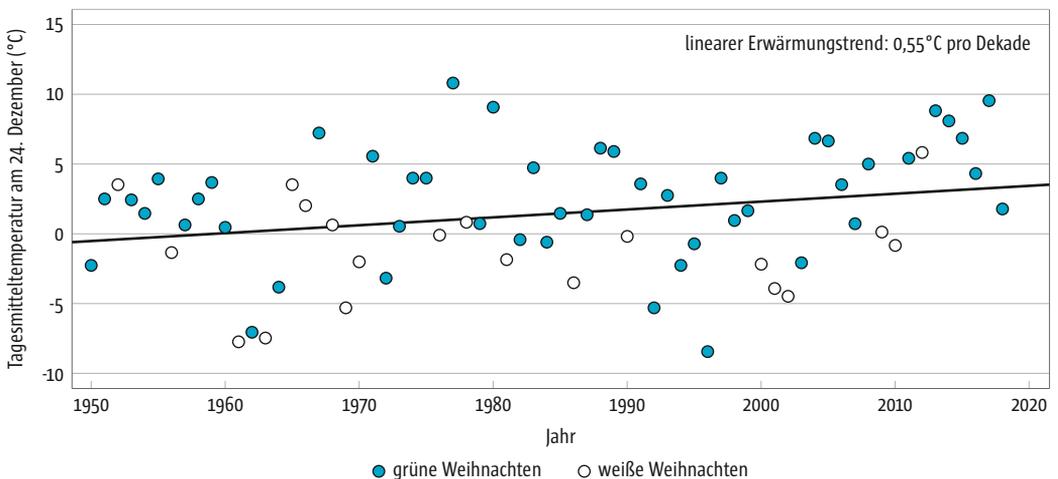


Abb. 7 Erwärmungstrend der Tagesmitteltemperatur am 24. Dezember an der Station des Deutschen Wetterdienstes Berlin-Dahlem in der Periode 1950–2018. Weiße Punkte zeigen Jahre mit „weißen Weihnachten“ (definiert als Jahre, in denen am 24. und/oder 25. Dezember morgens um 7 Uhr mindestens 1 cm Schnee gemessen wurde). (Daten: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html)

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

sammenhang ist auf Studien zu verweisen, die unter dem Stichwort „ökologische Trauer“ (engl. „ecological grief“) die psycho-sozialen Auswirkungen des Verlusts von Kulturgütern durch den Klimawandel untersuchen. In Umfragen mit bereits heute besonders vom Klimawandel betroffenen Bevölkerungsgruppen zeigte sich, wie die erlebte Veränderung von Ökosystemen, Landschaften und tradierten Lebensweisen Verlustängste und Trauer auslösen können (Cunsolo u. Ellis 2018).

Meeresspiegelanstieg

Derzeit leben knapp 10% der Weltbevölkerung in direkter Küstennähe. Diese Menschen erleben zum Teil heute schon die Auswirkungen des durch den anthropogenen Klimawandel gestiegenen Meeresspiegels. Im globalen Durchschnitt ist der Meeresspiegel seit Beginn des 20. Jahrhunderts durch größere Ausdehnung des wärmeren Wassers und durch Abschmelzen der Landeismassen um gut 15 cm angestiegen (IPCC 2019). Zu beachten ist jedoch, dass aufgrund von Meeresströmungen und des Hebens und Senkens von Landmassen (z.B. auch durch örtliche Grundwasserentnahme) lokale Veränderungen des Meeresspiegels stark vom globalen Mittelwert abweichen können. An den deutschen Küsten der Nord- und Ostsee sind die Pegelstände zum Teil seit Mitte des 19. Jahrhunderts gut dokumentiert. Beispielsweise ist der mittlere Meeresspiegel in Cuxhaven seit Beginn der Pegelstandsmessungen im Jahr 1843 bis heute um bereits etwa 40 cm angestiegen (Klimafakten 2020). Zudem lässt sich an Nord- und Ostsee – wie auch weltweit – eine Beschleunigung des Anstiegs verzeichnen. Bei ungünstigstem Klimawandel (entsprechend Szenario RCP8.5, s. Kap. 1.1.3) könnte der mittlere Meeresspiegel global bis Ende des Jahrhunderts einen Anstieg in der Größenordnung von einem Meter erreichen (IPCC 2019). Auch bei danach nicht weiter zunehmenden globalen Temperaturen würde der Meeresspiegel aufgrund der trägen Dynamik der Landeismassen hunderte bis tausende Jahre weiter ansteigen. Bekannt

ist, dass der Meeresspiegel in wärmeren Zeiten der Erdgeschichte bedeutend höher lag. Während der letzten Zwischeneiszeit vor 125.000 Jahren (s. Kap. 1.1.2) bei etwa gleicher globaler Mitteltemperatur wie heute befand sich der Meeresspiegel beispielsweise auf ca. 6 bis 9 Meter höherem Niveau. Trotz Küstenschutz und Deichbau können Sturmfluten zunehmend zu einem Gesundheitsrisiko für die in Küstennähe wohnende Bevölkerung werden. Zudem kann die Ausweitung von Brackwassergebieten die Verbreitung von Krankheitsvektoren erleichtern und auch die Versalzung von Trinkwasserreservoirs muss als mögliche Gesundheitsauswirkung des steigenden Meeresspiegels mitgedacht werden (Parker 2014).

1.3 Fazit

Der Klimawandel ist im Begriff, die Umwelt und Lebensgrundlagen der Menschen tiefgreifend zu verändern. Die vorhergehenden Ausführungen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt der bereits eingetretenen und für die Zukunft zu erwartenden Veränderungen in Deutschland und weltweit (s. Kap. 2 für eine ausführlichere Darstellung der Gesundheitsrisiken des Klimawandels aus globaler Perspektive). Die Weichenstellungen der kommenden Jahre werden entscheidend dafür sein, ob das im Pariser Klimaabkommen vereinbarte Ziel, die globale Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen, überhaupt noch erreichbar ist (vgl. Exkurs 1), und ob damit eine Anpassung an die veränderten Lebensbedingungen ohne disruptive Konflikte möglich sein wird. In dieser kritischen Phase nimmt der Gesundheitssektor eine zentrale Rolle ein (Bobbert 2020). Ärzte und anderes Gesundheitspersonal können die Risiken des Klimawandels für die menschliche Gesundheit kommunizieren und damit ein Gefühl der Betroffenheit erzeugen, das Grundlage für ein verstärktes Klimaschutzengagement werden kann (s. Kap. 13). Auch bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist die Gesell-

schaft auf das Gesundheitspersonal angewiesen. Zentrale Anpassungsbemühungen, wie die Umsetzung von Hitzeaktionsplänen oder die Aufklärung über umweltbedingte Gesundheitsrisiken, würden ohne die Mithilfe des Gesundheitssektors ins Leere laufen.

Literatur

- Abatzoglou JT, Williams AP, Barbero R (2019) Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophys Res Lett* 46:326–336. doi: 10.1029/2018GL080959
- Allen MR, Frame DJ, Huntingford C et al. (2009) Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature* 458:1163–1166. doi: 10.1038/nature08019
- Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J et al. (2011) The Hot Summer of 2010 : Map of Europe. *Science* (80-) Vol. 332:220–224. doi: 10.1126/science.1201224
- Berg P, Moseley C, Haerter J (2013) Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geosci* 6:181–185. doi: 10.1038/ngeo1731
- Bissolli P, Deuschländer T, Imbery F et al. (2019) Hitzewelle Juli 2019 in Westeuropa–neuer nationaler Rekord in Deutschland. In: Deutscher Wetterdienst. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801_hitzerekord_juli2019.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 04.03.2021)
- Bobbert P (2020) Klimawandel ist Thema der Ärzteschaft. *Deutsches Ärzteblatt* 117: 33–34. A1560.
- Bormann KJ, Brown RD, Derksen C, Painter TH (2018) Estimating snow-cover trends from space. *Nat Clim Chang* 8:924–928. doi: 10.1038/s41558-018-0318-3
- Bova S, Rosenthal Y, Liu Z, Ghodad SP, Yan M (2021) Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. *Nature* 589: 548–553. doi: 10.1038/s41586-020-03155-x
- Cardell MF, Amengual A, Romero R, Ramis C (2020) Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *Int J Climatol* 40:4800–4827. doi: 10.1002/joc.6490
- Climate Action Tracker (2020) URL: <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Crutzen PJ (2002) Geology of mankind. *Nature* 415:23. doi: 10.1038/415023a
- Cunsolo A, Ellis N (2018) Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss. *Nature Clim Change* 8:275–281. doi: 10.1038/s41558-018-0092-2
- Feser F, Barcikowska M, Krueger O et al. (2015) Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe–A review. *QJR Meteorol Soc* 141:350–382. doi: 10.1002/qj.2364
- Fischer EM, Schär C (2010) Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nat Geosci* 3:398–403. doi: 10.1038/ngeo866
- Forzieri G, Cescatti A, e Silva FB, Feyen L (2017) Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet Heal* 1:e200–e208. doi: 10.1016/S2542-5196(17)30082-7
- Fuchs T, Becker A (2020) Mehr Starkregen in Deutschland durch den Klimawandel. URL: <https://crisis-prevention.de/katastrophenschutz/mehr-starkregen-in-deutschland-durch-den-klimawandel.html#> (abgerufen am 04.03.2021)
- Giannadaki D, Pozzer A, Lelieveld J (2014) Modeled global effects of airborne desert dust on air quality and premature mortality. *Atmos Chem Phys* 14:957–968. doi: 10.5194/acp-14-957-2014
- Haarsma RJ, Hazeleger W, Severijns C et al. (2013) More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophys Res Lett* 40:1783–1788. doi: 10.1002/grl.50360
- Hari V, Rakovec O, Markonis Y et al. (2020) Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. *Sci Rep* 10:1–10. doi: 10.1038/s41598-020-68872-9
- Herrador BG, De Blasio BF, Carlander A et al. (2016) Association between heavy precipitation events and waterborne outbreaks in four Nordic countries, 1992–2012. *J Water Health* 14:1019–1027. doi: 10.2166/wh.2016.071
- IPCC (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. URL: <https://www.ipcc.ch/srocc/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Jagai JS, Li Q, Wang S et al. (2015) Extreme precipitation and emergency room visits for gastrointestinal illness in areas with and without combined sewer systems: An analysis of Massachusetts data, 2003–2007. *Environ Health Perspect* 123:873–879. doi: 10.1289/ehp.1408971
- Jones MW, Smith A, Betts R et al. (2020) Climate change increases the risk of wildfires. *Rapid Response Rev* 2013–2015.
- Jylhä K, Fronzek S, Tuomenvirta H et al. (2008) Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Clim Change* 86:441–462. doi: 10.1007/s10584-007-9310-z
- KC S, Lutz W (2017) The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Glob. Environ. Change* 42:181–92
- Klimafakten (2020) Was wir heute übers Klima wissen. URL: <https://www.klimafakten.de/meldung/was-wir-heute-uebers-klima-wissen-basisfakten-zum-klimawandel-die-der-wissenschaft> (abgerufen am 04.03.2021)
- Kossin JP, Knapp KR, Olander TL, Velden CS (2020) Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proc Natl Acad Sci USA* 117:11975–11980. doi: 10.1073/pnas.1920849117
- Kreyling J, Henry HAL (2011) Vanishing winters in Germany: Soil frost dynamics and snow cover trends, and ecological implications. *Clim Res* 46:269–276. doi: 10.3354/cr00996
- Mann ME, Rahmstorf S, Kornhuber K et al. (2017) Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. *Sci Rep* 7:1–12. doi: 10.1038/srep45242

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

- Marcott SA, Shakun JD, Clark PU, Mix AC (2013) A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science* 339: 1198-1201. doi: 10.1126/science.1228026
- Minx J, Fuss, S, Nemet G (2018) Seven key things to know about 'negative emissions'. In: Carbon Brief. URL: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-seven-key-things-to-know-about-negative-emissions> (abgerufen am 04.03.2021).
- Möller T, Schindler D, Albrecht AT, Kohnle U (2016) Review on the projections of future storminess over the North Atlantic European region. *Atmosphere (Basel)* 7:1–40. doi: 10.3390/atmos7040060
- O'Neill BC et al. (2016) The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6 Geosci. Model Dev. 9: 3461–82
- Orth R, Zscheischler J, Seneviratne SI (2016) Record dry summer in 2015 challenges precipitation projections in Central Europe. *Sci Rep* 6:1–8. doi: 10.1038/srep28334
- Parker CL (2014) Health Impacts of Sea-Level Rise. *Plan. Environ. Law* 66:8–12
- Pfahl S, O'Gorman P, Fischer E (2017) Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. *Nature Clim Change* 7:423–427. doi: 10.1038/nclimate3287
- Rädler AT, Groenemeijer PH, Faust E et al. (2019) Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability. *npj Climate and Atmospheric Science* 2:30. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0083-7>
- Rahmstorf S (2020) Deutschland ist schon 2°C wärmer geworden. In: SciLogs Klimalounge. URL: <https://scilog.spektrum.de/klimalounge/deutschland-ist-schon-2c-waermer-geworden/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Riahi K et al. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* 42:153–168. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009
- Rockström J, Gaffney O, Rogelj J et al. (2017) A roadmap for rapid decarbonization. *Science (80-)* 355:1269–1271. doi: 10.1126/science.aah3443
- Rohling EJ, Sluijs A, Dijkstra HA et al. (2012) Making sense of palaeoclimate sensitivity. *Nature* 491:683–691. doi: 10.1038/nature11574
- Setty KE, Enault J, Loret JF et al. (2018) Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at Water Safety Plan implementation sites in France and Spain. *Int J Hyg Environ Health* 221:714–726. doi: 10.1016/j.ijheh.2018.04.001
- Shakun J, Clark P, He F et al. (2012) Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature* 484, 49–54. doi: 10.1038/nature10915
- Stanke C, Kerac M, Prudhomme C et al. (2013) Health Effects of Drought: A Systematic Review of the Evidence. *PLoS Curr* 1–39. doi: 10.1371/currents.dis.7a2cee9e980f91ad7697b570bcc4b004
- Steffen W, Rockström J, Richardson K et al. (2018) Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc Natl Acad Sci USA* 115:8252–8259. doi: 10.1073/pnas.1810141115
- Stott PA, Stone DA, Allen MR (2004) Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432:610–614. doi: 10.1038/nature03089
- Tokarska KB, Stolpe MB, Sippel S et al. (2020) Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models. *Sci Adv* 6:1–14. doi: 10.1126/sciadv.aaz9549
- Turco M, Rosa-Cánovas JJ, Bedia J et al. (2018) Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nat Commun* 9:1–9. doi: 10.1038/s41467-018-06358-z
- UBA (2020) Waldbrände. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/waldbraende#waldbrände-in-deutschland> (abgerufen am 04.03.2021)
- Vautard R, Van Aalst M, Boucher O et al. (2020) Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. *Environ Res Lett*. doi: 10.1088/1748-9326/aba3d4
- Xu R, Yu P, Abramson MJ et al. (2020) Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *N Engl J Med*. doi: 10.1056/nejmsr2028985
- Yan Y, Bender ML, Brook EJ et al. (2019) Two-million-year-old snapshots of atmospheric gases from Antarctic ice. *Nature* 574:663–666. doi: 10.1038/s41586-019-1692-3
- Zacharias S, Koppe C, Mücke H (2015) Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany. *Climate* 100–117. doi: 10.3390/cli3010100
- Zelinka MD, Myers TA, McCoy DT et al. (2020) Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models. *Geophys Res Lett* 47:1–12. doi: 10.1029/2019GL085782



Dr. Veronika Huber

Sie studierte Biologie und Ökologie an der Universität Konstanz und der École normale supérieure in Paris. Nach einer Promotion zu den Folgen des Klimawandels in Seeökosystemen arbeitete sie mehrere Jahre am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung als Wissenschaftliche Referentin des Direktors. Derzeit ist sie als Wissenschaftlerin an der Universidad Pablo de Olavide in Sevilla, Spanien tätig, wo sie zu den Gesundheitsauswirkungen des Klimawandels forsch.

2 Klimawandel und Gesundheit aus globaler Perspektive – eine Übersicht über Risiken und Nebenwirkungen

Alina Herrmann und Ina Danquah

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-2, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Bereits 2009 hat die Lancet Kommission zu Gesundheit und Klimawandel festgestellt, dass der Klimawandel die größte Bedrohung für die globale Gesundheit im 21. Jahrhundert darstellt (Costello et al. 2009). Seitdem sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Zusammenhängen zwischen Klimawandel und Gesundheit weiter deutlich angestiegen (Verner et al. 2016). 2015 legte die Lancet Kommission dann dar, dass der Kampf gegen den Klimawandel auch die größte Chance für die globale Gesundheit im 21. Jahrhundert sein kann (Watts et al. 2015a). Dieses Kapitel möchte einen Überblick über relevante wissenschaftliche Erkenntnisse zu Klimawandel und globaler Gesundheit zwischen diesen beiden Polen geben. Dabei werden zunächst die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels betrachtet, um dann darauf einzugehen, wie diese Risiken minimiert werden können. Danach werden die großen gesundheitlichen Chancen (Co-Benefits/„Nebenwirkungen“) von Klimaschutzmaßnahmen beleuchtet. Am Abschluss des Kapitels steht die Vorstellung des Gesundheitskonzepts „Planetary Health“, welches als umfassendes Gesundheitskonzept in Forschung und Praxis neue Wege zur Bewältigung der Klimakrise und anderer menschengemachter Umweltkrisen anbieten möchte.

In 2009, the Lancet Commission on Health and Climate Change stated that climate change poses the greatest threat to global health in the 21st century (Costello et al. 2009). Since then, scientific evidence on links between climate change and health has continued to grow significantly (Verner et al. 2016). In 2015, the Lancet Commission suggested that addressing climate change may also be the greatest opportunity for global health in the 21st century (Watts et al. 2015a). This chapter aims to provide an overview of relevant scientific evidence on climate change and global health between these two poles. It first considers the health impacts of climate change, and then address how these risks can be minimized. Moreover, it looks at the major health opportunities (co-benefits) of climate action. The chapter concludes with a presentation of the health concept “Planetary Health”, which aims to provide a comprehensive health concept to address the climate crisis and other man-made environmental crises.

2.1 Die Auswirkungen des Klimawandels auf die globale Gesundheit

Klimawandel beschreibt einen langfristigen, statistisch messbaren Prozess, bei dem sich die Durchschnittswerte und die Variabilität von Temperaturen und Niederschlägen kontinuierlich verändern (Baede et al. 2007). In Abhängigkeit von der geografischen Region kann das unterschiedliche Auswirkungen auf die aktuelle Wetterlage haben (IPCC 2018). In gemäßigten Breitengraden werden längere und heißere Sommer beobachtet, während in tropischen Regionen Verschiebungen der Regen- und Trockenzeiten sowie gehäufte Extremwetterereignisse auftreten. Obwohl es im Einzelfall schwierig ist, eine direkte Verbindung zwischen Klimawandel und Gesundheitsrisiken herzustellen, sind sich Forscherinnen und Forscher einig darüber, dass der Klimawandel seit der Industrialisierung die menschliche Gesundheit und ihre Determinanten erheblich beeinträchtigt (McMichael u. Anthony 2013). Die tatsächlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit hängen von vielzähligen Faktoren ab. Dazu zählen Globalisierung, Migration, ökonomische Entwicklung und deren Zusammenwirken. Daraus ergeben sich Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die auf verschiedenen Ebenen vermittelt werden. Grundsätzlich unterscheidet man direkte (primäre) Auswirkungen, ökosystemvermittelte (sekundäre) Auswirkungen und sozial vermittelte (tertiäre) Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (McMichael u. Anthony 2013; United Nations u. WHO 2009). Diese Phänomene werden im Folgenden an Beispielen illustriert.

2.1.1 Direkte Auswirkungen

Zu den primären Gesundheitsrisiken des Klimawandels zählen solche mit direkten Konsequenzen für die menschliche Gesundheit (Gislasson 2015; Haines u. Ebi 2019). Solche unmittelbaren

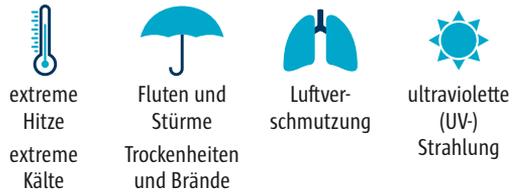


Abb. 1 Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (Abbildungen 1–3 angepasst nach noch unveröffentlichter Dissertation mit dem Arbeitstitel: „Climate Change and Public Health – Regime Types, Perception Patterns and Policy Responses in International Comparison“ von Max Jungmann)

telbaren Schädigungen werden hervorgerufen durch extreme Temperaturen (Hitze, Kälte), Extremwetterereignisse (Starkregen, Fluten, Stürme, Brände, Dürren), Luftverschmutzungen im Innen- und Außenbereich sowie ultraviolette Strahlung (s. Abb. 1).

Extremwetterereignisse. Extremwetterereignisse lösen akute Bedrohungen für die menschliche Gesundheit aus. Dazu zählen Unfälle bei Stürmen (Watts et al. 2015a) oder Ertrinken bei Überschwemmungen (WHO et al. 2012). Durch den Verlust von sauberem Wasser, Elektrizität, Kleidung, Nahrung und Behausung ziehen derlei Naturgewalten weitere Gesundheitsrisiken nach sich. Diese umfassen Infektionskrankheiten, Unterernährung und psychische Traumata (Morita u. Kinney 2014; Shukla 2016). Besonders betroffen sind vulnerable Bevölkerungsgruppen mit einer geringen eigenen Anpassungskapazität an Extremwetterereignisse. Diese Gruppen sind Frauen und Kinder, die ältere Bevölkerung, indigene Bevölkerungsgruppen und Menschen mit stark eingeschränkten finanziellen Möglichkeiten (Casas et al. 2016; Setti et al. 2016).

Hitzeextreme. An heißen Tagen und während Hitzewellen kommt es weltweit zu einer Übersterblichkeit (Exzessmortalität) (s. Kap. 3) und einer Zunahme der Krankheitslast (Morbidität) im Vergleich zu Tagen mit durchschnittlicher Temperatur (Åström et al. 2011; Bunker et al. 2016; Xu et al. 2016). Je nach klimatischer Region

sind die Schwellenwerte für eine Mortalitätszunahme unterschiedlich: Beim Vergleich von 15 europäischen Städten stieg die hitzebedingte Sterblichkeit in Prag bereits ab einem Schwellenwert von 23,0°C an, während dies in Athen erst ab einem Schwellenwert von 32,6°C der Fall war (Baccini et al. 2011). Diese und andere Beobachtungen legen eine gewisse Anpassungskapazität von Individuen und Gesellschaften nahe (ebd.). So ist die Sterblichkeit bei Hitzewellen zu Beginn des Sommers höher als gegen Ende des Sommers (Baccini et al. 2008). Jedoch kommt es durch den Klimawandel nicht nur zu einer graduellen Verschiebung von Temperaturen, sondern auch zu einer Zunahme der Anzahl, Dauer und Intensität von Hitzewellen als Extremereignissen (Robinson 2001). Daher wird auch unter Berücksichtigung von Anpassungsprozessen eine Zunahme an hitzebedingten Gesundheitsschäden erwartet (Zacharias et al. 2015).

Luftverschmutzung. Städtische Luftverschmutzung wird durch hohe Temperaturen verstärkt (s. Kap. 8) (Gislason 2015). Vor allem der Ozongehalt in der Luft steigt durch hohe Umgebungstemperaturen (Patz et al. 2012). Im Vergleich zu den 1990er-Jahren wird der Klimawandel die ozonbedingte Sterblichkeit um 4,5% bis 2050 erhöhen (Patz et al. 2012). Zusätzlich führt der Klimawandel zu einer erhöhten Exposition gegenüber Luftverschmutzung in Innenräumen, weil sich Menschen bei Extremtemperaturen dort häufiger aufhalten werden. In Gebäuden sind sie dann Hausstaubmilben, Mottensporen, Allergenen, Dämpfen von Lacken und Farben sowie Rußpartikeln aus der Verbrennung von Benzin oder Brennholz ausgesetzt (Beggs et al. 2014; Ziska u. Lewis 2016). Dadurch steigt die Anzahl von Menschen mit Asthma und anderen Atemwegserkrankungen (Luber et al. 2014).

2.1.2 Ökosystemvermittelte Auswirkungen

Ökosystemvermittelte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit umfassen biologische, physikalische und öko-



Abb. 2 Ökosystemvermittelte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit

logische Veränderungen. Dazu gehören verminderte landwirtschaftliche Erträge, Verdünnungen von Nährstoffen in wichtigen Nahrungspflanzen, erschwerter Zugang zu sauberem Wasser und die Verstärkung von Vektorübertragenen Infektionskrankheiten. Diese Folgen für die menschliche Gesundheit können sowohl durch abrupte Phänomene des Klimawandels als auch durch Langzeitfolgen hervorgerufen werden (McMichael u. Anthony 2013) (s. Abb. 2)

Wasser- und Lebensmittelübertragene Erkrankungen. Der Zugang zu sauberem Wasser ist eine der Grundvoraussetzungen für ein gesundes Leben. Der Klimawandel beeinträchtigt die Versorgung mit sauberem Wasser in vielen Teilen der Erde (Shukla 2016). Starke Regenfälle und erhöhte Niederschlagsvariabilität verschlechtern hygienische Bedingungen und Trinkwasserzugang erheblich. Dadurch kommt es zu einer Zunahme von wasserbedingten Infektionskrankheiten. Die Folgen sind gesundheitsschädliche Algenbildung, Infektionen mit Vibrionen inkl. Cholera, Dysenterie, Typhus, Durchfallerkrankungen und Leptospirosis (Nichols et al. 2018; Aparicio-Effen et al. 2016). Belege dafür wurden in den letzten Jahren nicht nur in Indien, China, Brasilien und anderen tropischen Regionen, sondern auch in höheren Breitengraden wie der Ostsee erbracht (Shukla 2016; Baker-Austin et al. 2013). Bedeutend für die menschliche Gesundheit sind auch die Einflüsse des Klimawandels auf unsere Meere, deren Pegel nicht nur ansteigen, sondern die zunehmend versauern (Akpınar-Elci u. Sealy 2013). Dadurch werden nicht nur Flora und Fauna der Meere beeinträchtigt. Es kommt zur Versalzung der

Küstenregionen und Kontamination des Frischwassers, wodurch Ackerbau nahezu unmöglich wird (Patz et al. 2012).

Vektor-übertragene Erkrankungen. Die Ausbreitung Vektor-übertragener Erkrankungen wird direkt durch klimatische Faktoren beeinflusst (Leal Filho et al. 2016). So erfahren folgende Erkrankungen im Zuge des Klimawandels eine rasche Zunahme: Dengue, Gelbfieber, West-Nil-Virus, Japanische Enzephalitis, Ross River-Virus und nicht zuletzt Malaria (Veenema et al. 2017). Gleichzeitig breiten sich derlei Krankheiten in bislang davon unbeeinträchtigte Regionen aus (McMichael u. Anthony 2013; Semenza 2014). Steigende Temperaturen in größeren Höhenlagen sorgen für verbesserte Fortpflanzungsbedingungen von Stechmücken, sodass diese Vektoren neue geografische Regionen als ihre Lebensräume erschließen können (Rom u. Pinkerton 2013). Zunehmende Luftfeuchtigkeit vervielfacht die Menge abgelegter Insekteneier, während erhöhte Temperaturen auch zu verkürzter Brutzeit und damit zu mehr Larven pro Zeit führen (Gillis 2016). Nicht zuletzt sorgen stehende Gewässer und Tümpel nach Starkregenfällen für verbesserte Brutbedingungen für Stechmücken und andere Vektoren für Krankheiten. In den letzten Dekaden haben sich die Fälle von Dengue um das 30-Fache auf bis zu 100 Millionen Fälle pro Jahr erhöht. Diese Erkrankung wurde vormals nur in wenigen geografischen Regionen beobachtet. Mittlerweile werden Dengue-Fälle in über 100 Ländern der Welt beobachtet (Cromar u. Cromar 2013).

Ernährungsstatus. Verstärkte Wettervariabilität bedeutet in vielen Teilen der Welt spät einsetzende Regenfälle während der Aussaat oder Starkregen während der Keimung, Dürrephasen während der Wachstumsperioden von Pflanzen und zerstörende Niederschläge während der Ernte. All diese Wetterphänomene des Klimawandels führen zu erheblichen Ernteeinbußen. Gleichzeitig werden Ausdünnungen von Nährstoffen in wichtigen pflanzlichen Nahrungsmitteln beobachtet. Dazu zählen die Verluste von Protein, Zink, Eisen und Selen in

Mais, Hirse, Weizen und anderen Getreidesorten (Smith u. Myers 2018; Zhu et al. 2018). Der Klimawandel hat auch Auswirkungen auf die Tierhaltung und Viehzucht: Nomadenfamilien finden nur schwerlich neue Weidegründe für ihre Herden aufgrund der zunehmenden Dürreperioden. Diese Faktoren tragen direkt zur Nahrungsunsicherheit der Bevölkerung bei – vor allem bei Kindern und Frauen in Gesellschaften, die auf Subsistenzwirtschaft angewiesen sind. Basierend auf den Projektionen für CO₂-Emissionen von 550 ppm bis zum Jahr 2050, werden zusätzlich 175 Millionen Menschen mehr einen Zink-Mangel und zusätzlich 122 Millionen Menschen mehr einen Protein-Mangel aufweisen. Dies bedeutet eine Zunahme von chronischer Mangelernährung und Anämie (Blutarmut) bei 1,4 Milliarden Menschen – hauptsächlich Kindern im Alter von 6 Monaten bis 6 Jahre in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen (Smith u. Myers 2018). Auch in Europa haben extreme Hitze und Trockenheit bereits zu Ernteaussfällen und partiellen Engpässen der landwirtschaftlichen Produktion geführt. Dadurch verteuerten sich im Jahr 2018 Kartoffelprodukte um ein Vielfaches (Mavchalaba 2015).

2.1.3 Sozial vermittelte Auswirkungen

Auf dieser Ebene sind die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und menschlicher Gesundheit komplex und multifaktoriell (McMichael u. Anthony 2013; Haines u. Ebi 2019). Grundsätzlich verschlimmert das Voranschreiten des Klimawandels Lebensumstände, die ohnehin prekär sind, wodurch es zu Migration, bewaffneten Konflikten und Vertreibungen kommt (Gislason 2015; McMichael u. Anthony 2013). Durch den globalisierten Handel und Multilateralismus werden scheinbar unabhängige Phänomene miteinander in Beziehung gesetzt. Das betrifft beispielweise Lebensmittelpreise auf dem Weltmarkt, die durch klimawandelbedingte Ernteeinbußen in einer Region zu einer Verschärfung der Ernährungsunsicherheit

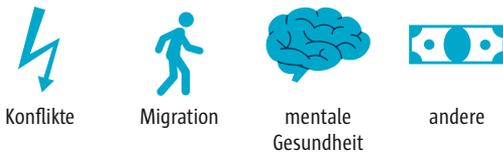


Abb. 3 Sozial vermittelte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit

cherheit in einer anderen Gegend führen können. Hier werden exemplarisch bewaffnete Konflikte und Migration als soziale Mittler für Gesundheitsschäden durch Klimawandel aufgezeigt (s. Abb. 3).

Konflikte, Migration. Eine naheliegende Konsequenz des Klimawandels besteht im veränderten Zugang zu natürlichen Ressourcen. Einerseits ermöglicht das Abschmelzen von Eis und Gletschern den Zugang zu fossilen Energiequellen, wie Erdgas, Rohöl und Erzen (Bowles et al. 2014). Andererseits führen Erwärmung, erhöhte Niederschlagsvariabilität und Wetterextreme zu verschlechtertem Zugang zu sauberem Trinkwasser, fruchtbarem Boden oder Fischereigebietten (Butler et al. 2014). Beides kann zu Verteilungskonkurrenz führen, die wiederum bewaffnete Konflikte und Migration nach sich ziehen kann (Lamothe 2018; Butler et al. 2014). Bereits im Jahr 2009 wurde prognostiziert, dass 2,7 Milliarden Menschen in 46 Staaten zukünftig einem erhöhten Risiko für bewaffnete Konflikte ausgesetzt sind (Barbara 2013). Diese Konflikte verursachen Verletzungen, Tötungen und erhebliche Schwächungen der dortigen Gesundheitssysteme. Sie führen zu Vertreibung, Migration und Isolation, wodurch vor allem die mentale Gesundheit gefährdet wird (Watts et al. 2015a). Dazu zählen posttraumatischer Stress, Depressionen und Angstzustände. Auch Unterernährung, Infektionskrankheiten und Autoaggression können die Folge von Krieg und Vertreibung sein (Leal Filho et al. 2016). Menschen auf der Flucht erleben wiederum direkte Einflüsse des Klimawandels auf ihre Gesundheit aufgrund fehlender Behausung oder Zugang zu Gesundheitsversorgung (Nichols et al. 2018).

2.2 Gesundheitliche Risiken des Klimawandels minimieren

2.2.1 Klimarisiken verstehen: „Avoid the unmanageable, manage the unavoidable.“

Das Risiko, den in Kapitel 2.1 dargestellten gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels ausgesetzt zu sein, ist weltweit unterschiedlich. Das Verständnis davon, wie sich gesundheitliche Risiken des Klimawandels zusammensetzen, ist wichtig, um an einer Minimierung dieser Risiken zu arbeiten (Viner et al. 2020). Abbildung 4 beschreibt, welche Komponenten zu klimawandelbedingten Risiken beitragen und in welchem Bereich Klimaschutz, Anpassung und Resilienz, also Widerstandsfähigkeit, diese Risiken minimieren können.

Die Gefahrenquelle in Abbildung 4 bezeichnet in diesem Zusammenhang ein durch den Klimawandel beeinflusstes Ereignis, welches Leib und Leben gefährdet, beispielsweise Hitzewellen, Dürren oder Starkregenereignisse (Viner et al. 2020). Solche sind weltweit und auch regional unterschiedlich ausgeprägt. Beispielsweise sind die Vorhersagen zur Intensität von Hitzewellen auch in Deutschland regional durchaus unterschiedlich (s. Kap. 1). Die Exposition beschreibt örtliche Gegebenheiten, die das Risiko beeinflussen, z.B. ob und wie Menschen dort leben, wo eine Hitzewelle eintritt. In einer dicht bebauten Stadt kann die Temperatur durch den städtischen Wärmeinsel-Effekt beispielsweise bis zu 10°C höher sein als in der ländlichen Umgebung (Copernicus Climate Change Service 2020). Vulnerabilität oder Verwundbarkeit beschreibt die Anfälligkeit dafür, negativ vom Klimawandel betroffen zu sein (IPCC 2012). So sind bestimmte Menschen oder Regionen durch besondere Merkmale wie z.B. Vorerkrankungen oder unzureichende Anpassungsmöglichkeiten stärker gefährdet, unter dem Klimawandel zu leiden (Haines u. Ebi 2019).

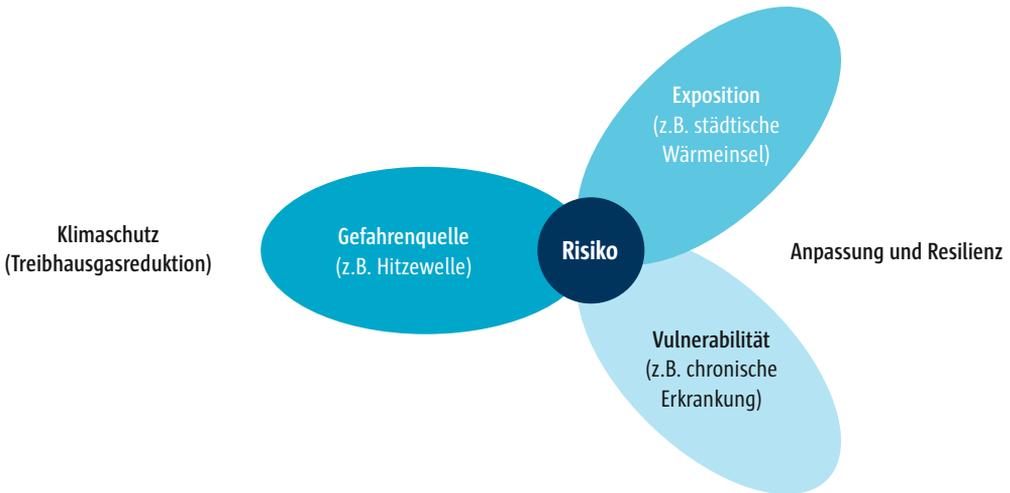


Abb. 4 Klimawandelbedingte Risiken und ihr Verhältnis zu Klimaschutz, Anpassung und Resilienz (adaptiert nach Viner et al. 2020, basierend auf der Risiko-Definition des Weltklimarats [IPCC 2012], veröffentlicht unter Creative Commons-Lizenz)

Wie kann man nun die gesundheitlichen Risiken durch den Klimawandel mindern? Zunächst bleibt festzuhalten, dass eine konsequente Reduktion von Treibhausgasemissionen notwendig ist, um auf die Gefahrenquellen einzugehen und nicht mehr zu bewältigende Risiken durch den Klimawandel abzuwenden („Avoiding the unmanageable“). Parallel dazu müssen sich Gesellschaften jedoch an nicht mehr vermeidbare Gefahren anpassen und Resilienz entwickeln („Manage the unavoidable“). Im Folgenden werden relevante Aspekte zur Reduktion von gesundheitlichen Klimarisiken in den Bereichen Klimaschutz, Anpassung und Resilienz diskutiert.

2.2.2 Klimaschutz zur Reduktion von Klimarisiken

Die Treibhausgasreduktion hat nach Abbildung 4 also zum Ziel, die Gefahrenquellen zu reduzieren. Der in Deutschland gebräuchliche Begriff „Klimaschutz“ ist missverständlich, weil hiermit nicht (nur) das Klima geschützt werden soll, sondern vor allem die Menschen vor klimawandelbedingten Schäden.

Die internationale Staatengemeinschaft hat sich 2015 im Abkommen von Paris darauf geeinigt, die Erderwärmung auf 2°C und wenn möglich 1,5°C zu begrenzen (UNFCCC 2015). Wenn alle Staaten der Welt ihre bisher im Rahmen des Paris-Abkommens gesteckten Klimaziele (Nationally Determined Contributions, NDCs) einhielten, würde es bis zum Jahr 2100 zu einer Erwärmung von 2,6–3,1°C kommen (Rogelj et al. 2016). Dies bedeutet, dass die Staaten weitreichendere Maßnahmen umsetzen müssen, um ihr selbst gestecktes Ziel zu erreichen. Der 1,5°C-Sonderbericht des Weltklimarats hat deutlich gemacht, dass eine Limitierung der globalen Erwärmung auf 1,5°C die (gesundheitlichen) Risiken des Klimawandels im Vergleich zu einer Erwärmung auf 2°C oder mehr deutlich reduzieren würde (IPCC 2018). Beispielsweise könnten bei einer Erwärmung von 2°C extreme Hitzewellen, wie die von 2015 in Indien und Pakistan, jährlich auftreten (IPCC 2018). Zudem würden bei einer Erwärmung um 1,5°C statt 2,0°C 10 Millionen Menschen weniger den mit dem Anstieg der Meeresspiegel verbundenen Risiken ausgesetzt sein (Climate Action Tracker 2019). Die Einhaltung des Pariser Klimaschutzabkom-

mens würde es auch weniger wahrscheinlich machen, dass es zu sogenannten Kippunkten kommt. Dies sind durch die graduelle Erwärmung ausgelöste abrupte Veränderungen im Erdsystem, wie das Ausbleiben des Golfstroms oder der Monsun-Wetterlagen, die starke Veränderungen für die Lebensbedingungen und die Gesundheit der Menschen bedeuten würden (Lenton et al. 2020).

2.2.3 Anpassung zur Reduktion von Klimarisiken

Selbst wenn es der Weltgemeinschaft gelingt, die Erderwärmung auf 2°C zu begrenzen, werden gesundheitliche Auswirkungen verbleiben, mit denen die Gesellschaften umgehen müssen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, können Risiken aufseiten der Exposition und Vulnerabilität durch Anpassung gemindert werden. Das Schlagwort der Anpassung beschreibt im Klimawandel-Diskurs die Anpassung an vorherrschende oder erwartete Klimabedingungen, um Schäden zu mindern und ggf. weitere Vorteile zu erlangen (IPCC 2018). Die Vermeidung gesundheitlicher Schäden ist hier neben ökonomischen Schäden ein wichtiger Aspekt. Bei der Anpassung an Klimawandelfolgen wie Hitzewellen, Überflutungen oder Dürren spielt global gesehen vor allem die Anpassungskapazität eine große Rolle („adaptive capacity“). In Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen ist diese Anpassungskapazität u. a. aus sozio-ökonomischen Gründen oft niedriger als in Ländern mit hohem Einkommen (Adger et al. 2003; Mertz et al. 2009; Filho et al. 2018). So wirken sich verminderte Ernteerträge bei Kleinbauern in Subsistenzwirtschaft beispielsweise direkt auf das Überleben von Kleinkindern in deren Familien aus (Belesova et al. 2018), während Landwirte in Ländern mit hohem Einkommen in diesem Fall vor allem mit ökonomischen Konsequenzen zu rechnen haben. Diese Gegenüberstellung kann an dieser Stelle das noch weitaus größere Thema der Klimagerech-

tigkeit nur anreißen. Während die Einbindung solcher normativer Dimensionen in der Klimawandel-Forschung teilweise kontrovers diskutiert werden (Klinsky et al. 2017), muss anerkannt werden, dass aus gesundheitlicher Sicht der Bedarf zur Klimaanpassung weltweit besteht, jedoch in benachteiligten Gruppen und Regionen besonders groß ist (Pelling u. Garschagen 2019). So gibt es als wichtige Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft einerseits die Bestrebung, den Anbau von Feldfrüchten zu diversifizieren und klimangepasste Techniken zu nutzen (Schroth et al. 2009; Chettri et al. 2016), andererseits klimawandelbedingte Ernteaufschläge auch für Kleinbauern durch wetterbasierte Versicherungen auszugleichen (Below et al. 2010; Adiku et al. 2017). Sektion III dieses Buches stellt konkrete Anpassungsmaßnahmen im Bereich des deutschen Gesundheitssektors dar.

2.2.4 Klimaresiliente und nachhaltige Gesundheitssysteme zur Reduktion von Klimarisiken

Während Gesellschaften als Ganze resilient, also widerstandsfähig gegenüber Klimarisiken sein sollten, geht dieses Kapitel besonders darauf ein, was klimaresiliente und nachhaltige Gesundheitssysteme ausmacht. Laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind klimaresiliente Gesundheitssysteme wie folgt definiert:

„Ein klimaresilientes Gesundheitssystem ist dazu fähig, klimabedingte Erschütterungen und Belastungen vorauszu sehen, auf sie zu reagieren, mit ihnen umzugehen, sich von ihnen zu erholen und sich an sie anzupassen. Damit sorgt ein solches Gesundheitssystem trotz instabiler klimatischer Bedingungen für eine nachhaltige Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung.“ (WHO 2015)

Klimaresilienz soll also dazu führen, dass Gesundheitssysteme trotz sich verändernder und steigender klimabedingter Belastungen weiter

Tab. 1 Die zehn Komponenten des operationalen Rahmenwerks für klimaresiliente Gesundheitssysteme nach WHO 2015

Bausteine des Gesundheitssystems	10 Komponenten klimaresilienter Gesundheitssysteme
Führung und Steuerung	1. politische Verpflichtung und effektive Steuerung zum Aufbau von Klimaresilienz
Gesundheitspersonal	2. Befähigung von Gesundheitspersonal im Bereich Klimawandel und Gesundheit, z.B. durch Integration in Aus- und Weiterbildung
gesundheitliche Informationssysteme	3. Bewertung von Vulnerabilität, Kapazität und Anpassung 4. umweltbezogenes Risikomonitoring und Frühwarnsysteme (z.B. Hitzewarnsysteme, Pollenmonitoring, UV-Index, Wasserqualität) 5. multidisziplinäre Forschung zu Gesundheit und Klimawandel
Medizinprodukte und Technologien	6. klimaresiliente und nachhaltige Produkte, Technologien und Infrastruktur
Leistungserbringung	7. Anpassung der Katastrophenbereitschaft und des Notfallmanagements an klimabedingte Extremereignisse 8. Einbeziehung klimawandelbezogener Aspekte in Gesundheitsprogramme 9. intersektorales Management von umweltbedingten Gesundheitsdeterminanten unter Berücksichtigung des „Health in all policies“-Ansatzes (Gesundheit in jedem Politikbereich)
Finanzierung	10. Finanzierung zum Aufbau von Klimaresilienz über klimaangepasste Kernfinanzierung des Gesundheitssystems und Finanzierungsmöglichkeiten externer Organisationen

ihrer Grundfunktion nachkommen oder ggf. sogar ihre Leistung verbessern können. Global gesehen geht es vor allem darum, eine bisher nicht selbstverständliche flächendeckende Gesundheitsversorgung („Universal Health Coverage, UHC“) jederzeit, auch im Katastrophenfall, sicher zu stellen (WHO 2015). Tabelle 1 stellt die zehn Komponenten des Rahmenwerks für klimaresiliente Gesundheitssysteme der WHO in Relation zu Grundbausteinen von Gesundheitssystemen dar.

Das WHO-Rahmenwerk wendet sich besonders an Länder mit mittleren und niedrigen Einkommen, wo bereits jetzt nicht immer adäquat auf gesundheitliche Notlagen reagiert werden kann und Mittel für eine flächendeckende Gesundheitsversorgung fehlen (WHO 2015). Für Deutschland kann man sagen, dass Patienten einen universalen Zugang zu qualitativ hochwertiger medizinischer Versorgung haben (Busse et al. 2017) und es strukturierte Systeme zum Katastrophen- und Zivilschutz gibt (Kippnich et al. 2017). Auch gibt es zahlrei-

che Gesundheitsinformationssysteme und umweltbezogene Monitorings (Capellaro u. Sturm 2015; Buters et al. 2020; UBA 2020). Jedoch sind auch in Deutschland die meisten der zehn Kernelemente klimaresilienter Gesundheitssysteme noch völlig unzureichend umgesetzt. Ein erster wichtiger Schritt im Bereich „Führung und Steuerung“ wurde im Jahr 2020 erreicht, als die Gesundheitsministerkonferenz den Klimawandel als eine Herausforderung für das deutsche Gesundheitswesen anerkannt und diesbezügliche Beschlüsse gefasst hat, die auch viele der in Tabelle 1 erläuterten Kernelemente in den Blick nehmen (GMK 2020).

Im Jahr 2020 veröffentlichte die WHO eine Handreichung zur Umsetzung des oben skizzierten Rahmenwerks, welches den Aspekt der Nachhaltigkeit von Gesundheitssystemen noch stärker fokussiert. Diese Handreichung enthält Checklisten mit konkreten, kleinteiligen Maßnahmen zur Erreichung von klimaresilienten und nachhaltigen Gesundheitseinrichtungen (WHO 2020). Nicht zuletzt durch einen viel be-

achteten Bericht der Organisation Health Care Without Harm (HCWH) 2019 erhielt das Thema der nachhaltigen Gesundheitssysteme zu Recht eine größere Aufmerksamkeit (HCWH 2019). Denn allein in Deutschland ist der Gesundheitssektor für etwa 6–7% der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich (Pichler et al. 2019). Nach dem Prinzip „primum non nocere“, erstens nicht schaden, sollte auch der Gesundheitssektor seine Treibhausgasemissionen reduzieren und somit zur gesellschaftlichen Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit beitragen (WBGU 2011; WHO 2020). Der britische National Health Service (NHS) hat sich bereits das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 gesteckt (NHS 2020).

2.3 Die Bedeutung von gesundheitlichen Co-Benefits auf globaler Ebene

Viele Klimaschutzmaßnahmen gehen mit gesundheitlichen Vorteilen (Co-Benefits) einher und zwar sowohl auf der Bevölkerungsebene als auch auf der individuellen Ebene (Herrmann et al. 2019). Im Folgenden werden vor allem gesundheitliche Co-Benefits von Luftschadstoffreduktion und Lebensstilaspekten beleuchtet.

2.3.1 Co-Benefits von Luftschadstoffreduktion

Auf der Bevölkerungsebene wirkt sich vor allem der Wechsel zu erneuerbaren Energien durch eine Reduktion der Luftverschmutzung, insbesondere von Feinstaub, Ruß und bodennahem Ozon positiv auf die Gesundheit aus (Haines et al. 2009). Aktuell kommt es durch Luftverschmutzung jährlich weltweit zu etwa 3,3 Millionen vorzeitigen Todesfällen (Lelieveld et al. 2015). Die meisten dieser Todesfälle ereignen sich in Asien, wo die Ursachen der Luftverschmutzung zumeist beim Heizen und Kochen liegen. In anderen Ländern sind vor allem Emissionen aus der Stromerzeugung, dem Ver-

kehr und der Landwirtschaft ursächlich (Lelieveld et al. 2015). Markandya et al. modellierten, dass in Ländern wie China oder Indien die durch Klimaschutzmaßnahmen gesparten Gesundheitskosten die Ausgaben zur Umsetzung dieser Klimaschutzmaßnahmen übersteigen (Markandya et al. 2018).

Global gesehen ist nicht nur die Luftverschmutzung im Freien, sondern auch die Luftverschmutzung in Innenräumen, vor allem durch das Kochen und Heizen mit offenem Feuer, ein relevantes Gesundheitsrisiko. Besonders Kinder unter fünf Jahren und Frauen leiden durch diesen Risikofaktor beispielsweise vermehrt an Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Blindheit, niedrigerem Geburtsgewicht und versterben früher (Smith u. Mehta 2003). Wilkinson et al. modellierten, dass die Ausstattung mit 150 Millionen sauberen Küchenherden in Indien innerhalb von 10 Jahren 2 Millionen vorzeitige Todesfälle verhindern und gleichzeitig ca. 0,75 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente einsparen könnte (Wilkinson et al. 2009).

2.3.2 Lebensstilaspekte

Lebensstilveränderungen im Bereich Mobilität, Ernährung und Wohnen können bei jedem Einzelnen direkt zu gesundheitlichen Vorteilen führen und sollen hier nur kurz skizziert werden (weitere Ausführungen s. Kap. 13). Aus globaler Perspektive ist im Bereich der Lebensstile zu beachten, dass wachsender Wohlstand häufig mit einem Anstieg des Ressourcenverbrauchs (und damit auch der Treibhausgasemissionen) und sich verändernden Gesundheitsrisiken einher geht (insbesondere chronische Herz-Kreislauf- und Stoffwechselerkrankungen durch zu wenig Bewegung und Überernährung) (Whitmee et al. 2015). Unter Berücksichtigung des zunehmenden weltweiten Wohlstands und des Bevölkerungswachstums sind Bemühungen zu nachhaltigen und gesunden Lebensweisen weltweit also beson-

ders wichtig, um die Ziele des Paris-Abkommens zu erreichen und die Belastung durch chronische Erkrankungen zu mindern (Egger 2009).

Mobilität. Körperliche Aktivität durch aktive Mobilität, also die Nutzung des Fahrrads oder das Gehen statt der Nutzung des Autos, schützt die Gesundheit schon bei kurzen Strecken (Quam et al. 2017). So wurde für die Region um San Francisco (Kalifornien) untersucht, wie sich die Erhöhung der täglichen Fortbewegung zu Fuß oder mit dem Fahrrad von durchschnittlich vier auf durchschnittlich 22 Minuten bei gleichzeitiger Reduktion der Autofahrten auswirken würde. Es wurde modelliert, dass die Krankheitslast durch Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und auch die Emissionen von Treibhausgasen um jeweils 14% reduziert werden könnten (Maizlish et al. 2013). Auch die Nutzung von Bus und Bahn wirkt sich aufgrund der fußläufigen Wege zu den Haltestellen positiv auf die Gesundheit aus (Rissel et al. 2012).

Ernährung. Moderne Ernährungsweisen sind aufgrund von Viehhaltung, starker Verarbeitung und Verpackung von Produkten sowie oft weiter Transportwege mit hohen Treibhausgasemissionen verbunden (Tilman u. Clark 2014). Insbesondere eine Limitierung des globalen Verzehrs von rotem Fleisch und Milchprodukten wird bei wachsender Weltbevölkerung entscheidend sein, um die Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen (Hedenus et al. 2014). Der reduzierte Konsum von verarbeitetem Fleisch und vermutlich auch von rotem Fleisch geht mit einem reduzierten Risiko für Darmkrebs einher (Behrens et al. 2018; Boada et al. 2016). Ersetzt man gesättigte Fettsäuren aus tierischen Produkten durch ungesättigte Fettsäuren aus pflanzlichen Produkten, führt dies zudem zu einer besseren kardiovaskulären Gesundheit (Siri-Tarino et al. 2015).

Wohnen. Die gute Dämmung von Gebäuden kann Energie sparen und zur Gesundheit beitragen (Wilkinson et al. 2009). Rodgers et al. zeigten zum Beispiel, dass Dämmmaßnahmen und der Einbau von isolierenden Fenstern und

Türen die Hospitalisierungsrate von Hausbewohnern über 60 Jahren in Großbritannien reduziert haben (Rodgers et al. 2018).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sowohl die gesundheitlichen Co-Benefits an sich als auch die gesparten Gesundheitskosten durch Klimaschutzmaßnahmen (Jarrett et al. 2012) große Chancen für eine Gesellschaft darstellen. Kommunikation über die gesundheitlichen Vorteile von Klimaschutzmaßnahmen kann klimafreundliches Verhalten von Individuen fördern (Amelung et al. 2019; Van der Linden et al. 2015), muss aber auch von Entscheidungsträgern in Politik und Gesellschaft verstanden werden, damit positive Rahmenbedingungen für solches Verhalten geschaffen werden können (Herrmann et al. 2020; Sauerborn et al. 2009).

2.4 Planetary Health als Gesundheitskonzept der Zukunft?

In dem vorliegenden Artikel wurden die gesundheitlichen Risiken des Klimawandels sowie die Chancen des Klimaschutzes für den Gesundheitsschutz ausführlich dargestellt. Das Klimasystem ist jedoch nicht das einzige System, das aufgrund der menschlichen Aktivität auf der Erde fundamental beeinflusst wird. Rockström et al. definierten insgesamt neun planetare Grenzen, deren Überschreitung den sicheren Raum für das Fortbestehen der menschlichen Zivilisation gefährden könnte: Neben dem Klimawandel sind weitere planetare Grenzen der Verlust biologischer Vielfalt, die Ozeanversauerung, Landnutzungsveränderungen, globale Süßwassernutzung, Verschmutzung durch Schadstoffe, atmosphärische Aerosolbelastung, stratosphärischer Ozonabbau und Grenzen für biogeochemische Flüsse (Rockström et al. 2009). In der Erkenntnis, dass die anthropogen bedingten massiven Umweltveränderungen die menschliche Gesundheit und das menschliche Wohlergehen gefährden, wurde unterstützt von einer Kommission der

Rockefeller Foundation und der Fachzeitschrift *The Lancet* das neue Gesundheitskonzept „Planetary Health“ entworfen (Whitmee et al. 2015). Vereinfacht gesagt umfasst „Planetary Health“ die Gesundheit der Menschen und der natürlichen und gesellschaftlichen Systeme, auf denen diese basiert. Die Vision hinter diesem Konzept ist ein „Planet, der die Vielfalt des Lebens, mit der Menschen koexistieren und von der sie abhängen, nährt und erhält“ (Horton et al. 2014). Das Konzept wurde bewusst sowohl als Fachdisziplin, aber auch als gesellschaftliche Bewegung konzipiert. Während dieses Gesundheitskonzept also einerseits global angelegt ist und transdisziplinärer Gesundheitsforschung einen neuen Rahmen gibt, will es Menschen auch dazu anregen, sich lokal konkret für gesunde Menschen auf einem gesunden Planeten zu engagieren (Horton et al. 2014). Inspiriert von „Planetary Health“ engagieren sich beispielsweise Menschen in Gesundheitsberufen für die Umsetzung von Planetary Health-Prinzipien in ihrem professionellen Umfeld (KLUG e.V. 2020). Auch in anderen Bereichen der Klimawandel- und Nachhaltigkeitsforschung ist zu beobachten, dass sich Wissenschaftler zunehmend aktiv gesellschaftlich für Nachhaltigkeit und Klimaschutz einsetzen. So gründete sich 2019 die Gruppierung *Scientists-for-Future*: Etwa 26.800 Wissenschaftler aus dem deutschsprachigen Raum solidarisierten sich darin explizit mit der *Fridays-for-Future*-Bewegung und schlossen sich deren Forderungen an (S4F 2019). Während es für Wissenschaftler lange nicht üblich war, gesellschaftlich Stellung zu beziehen, scheint sich dies aktuell aufgrund der Evidenz zu den Gefahren des Klimawandels und anderer Umweltveränderungen zu ändern. Die in diesem Kapitel dargelegten globalen Zusammenhänge zeigen, warum es insbesondere für Akteure im Gesundheitssektor wichtig ist, mutige Schritte hin zu einem klimaresilienten und nachhaltigen Gesundheitssystem zu unternehmen.

Literatur

- Adger WN, Huq S, Brown K, Conway D, Hulme M (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in development studies* 3(3), 179–195
- Adiku SGK, Debrah-Afanyede E, Greatrex H, Zougmore R, MacCarthy DS (2017). Weather-Index Based Crop Insurance as a Social Adaptation to Climate Change and Variability in the Upper West Region of Ghana: Developing a participatory approach. CCAFS Working Paper no. 189. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Akpinar-Elci M, Sealy H (2013). Climate Change and Public Health in Small Island States and Caribbean Countries. In: Kent E. Pinkerton and William N. Rom (Hrsg.) *Global Climate Change and Public Health*. 279–292. New York.
- Amelung D, Fischer H, Herrmann A, Aall C, Louis VR, Becher H, Wilkinson P, Sauerborn R (2019). Human health as a motivator for climate change mitigation: results from four European high-income countries. *Global Environmental Change*, 57, 101918.
- Aparicio-Effen M, Arana I, Aparicio J, Ramallo C, Bernal N, Ocampo M, and Nagy GJ (2016). Climate Change and Health Vulnerability in Bolivian Chaco Ecosystems. In: Walter Leal Filho, Ulisses de Miranda Azeiteiro and Fátima Alves (Hrsg.) *Climate change and health: improving resilience and reducing risks*. 231–259. Cham/Heidelberg.
- Åström DO, Bertil F, Joacim R (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*, 69(2), 99–105.
- Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, Katsouyanni K, Analitis A, Danova J et al. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 711–719.
- Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D'Ovidio M, Menne B (2011). Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 65(1), 64–70.
- Baede A, van der Linden P, Verbruggen A (2007). "Annex II – Glossary." In *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.
- Baker-Austin C, Trinanen JA, Taylor NG, Hartnell R, Siitonen A, Martinez-Urtaza J (2013). Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nature Climate Change*, 3(1), 73–77.
- Barbara JS (2013). The Impact of Climate Change on Human Health. In *Impact of Climate Change on Water and Health*, Velma I. Grover (Hrsg.), 75–105. Boca Raton.
- Beggs P (2014). Impacts of Climate Change on Allergens and Allergic Diseases: Knowledge and Highlights from two Decades of research. In *Climate Change and Global Health*, Colin Butler (Hrsg.), 105–113. Canberra.
- Behrens G, Gredner T, Stock C, Leitzmann M, Brenner H, Mons U (2018). Cancers Due to Excess Weight, Low Physical Activity, and Unhealthy Diet: Estimation of the Attributable Cancer Burden in Germany. *Deutsches Arzteblatt International*, 115.

- Belesova K, Gasparri A, Sié A, Sauerborn R, Wilkinson P (2018). Annual crop-yield variation, child survival, and nutrition among subsistence farmers in Burkina Faso. *American journal of epidemiology*, 187(2), 242–250.
- Below T, Artner A, Siebert R, Sieber S (2010). Micro-level practices to adapt to climate change for African small-scale farmers. A review of selected literature, 953, 1–20.
- Boada LD, Henríquez-Hernández LA, Luzardo OP (2016). The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: Epidemiological evidences. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 236–244.
- Bowles D, Braidwood M, Butler C (2014). Unholy trinity: Climate Change, Conflict and Ill Health. In *Climate Change and Global Health*, Colin Butler (Hrsg.), 144–152. Canberra.
- Bunker A, Wildenhain J, Vandenberg A, Henschke N, Rocklöv J, Hajat S, Sauerborn R (2016). Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly; a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, 6, 258–268.
- Busse R, Blümel M, Knieps F, Bärnighausen T (2017). Statutory health insurance in Germany: a health system shaped by 135 years of solidarity, self-governance, and competition. *The Lancet*, 390(10097), 882–897.
- Buters J, Oteros J, Gebauer R, Heigl K (2020). Automatisches Pollenmonitoring in Deutschland: Eine Arbeit der Sektion Umwelt- und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesellschaft für Allergologie und klinische Immunologie (DGAKI). *Allergo Journal*, 29, 14–16.
- Butler C, Bowles D, McIver L, Page L (2014). Mental Health, Cognition and the Challenge of Climate Change. In *Climate Change and Global Health*, Colin Butler (Hrsg.), 251–259. Canberra.
- Capellaro M, Sturm D (2015) Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit. *Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau*. ISSN 1862-4340
- Casas A, Foroni L, Mendes Dias Santos G, Biscaro Chiocheti N, de Andrade M (2016). Effects of Temperature Variation on the Human Cardiovascular System: A Systematic Review. In *Climate change and health: improving resilience and reducing risks*. Walter Leal Filho, Ulisses de Miranda Azeiteiro and Fátima Alves (Hrsg.), 73–87. Cham/Heidelberg.
- Chhetri A, Aggarwal PK, Joshi PK, Vyas S (2017) Farmers' prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies. *Agricultural systems*, 151, 184–91.
- Climate Action Tracker (2019). 2100 Warming projections – Emissions and expected warming based on pledges and current policies. URL: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/> (abgerufen am 03.03.2021)
- Copernicus Climate Change Service (2020). Urban heat island intensity for European cities from 2008 to 2017, derived from reanalysis. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-health-urban-heat-islands-current-climate?tab=overview> (abgerufen am 03.03.2021)
- Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R., Patterson C (2009). Managing the health effects of climate change. *The Lancet*, 373(9676), 1693–1733. doi:10.1016/S0140-6736(09)60935-1
- Cromar L, Cromar K (2013). Dengue Fever and Climate Change. In *Global Climate Change and Public Health*, Kent E. Pinkerton and William N. Rom (Hrsg.), 167–191. New York.
- Egger G (2009). Health, Illth, and Economic Growth: Medicine, Environment, and Economics at the Crossroads. *American Journal of Preventive Medicine*, 37(1), 78–83.
- Filho WL, Balogun AL, Ayal DY., Bethurem EM, Murambadoro M, Mambo J, Mugabe P (2018). Strengthening climate change adaptation capacity in Africa- case studies from six major African cities and policy implications. *Environmental Science & Policy*, 86, 29–37
- Gesundheitsministerkonferenz (2020) Beschlüsse der 93. GMK. TOP 5.1 Der Klimawandel – eine Herausforderung für das deutsche Gesundheitswesen. URL: <https://www.gmkonline.de/Beschluesse.html?id=1018&jahr=2020> (abgerufen am 03.03.2021)
- Gillis, Justin. (2016). In Zika Epidemic, a Warning on Climate Change. *New York Times*, 20.02.2016. URL: http://www.nytimes.com/2016/02/21/world/americas/in-zika-epidemic-a-warning-on-climate-change.html?_r=0 (abgerufen am 03.03.2021)
- Gislason, Maya K. (2015). Climate change, health and infectious disease. *Virulence* 6 (6):539–542.
- Haines A, Ebi K (2019). The Imperative for Climate Action to Protect Health. *N Engl J Med*, 380(3), 263–273. doi:10.1056/NEJMr1807873
- Haines A, McMichael AJ, Smith KR, Roberts I, Woodcock J, Markandya A, Davies M (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers. *The Lancet*, 374(9707), 2104–2114.
- HCWH, Health Care Without Harm (2019) Health Care's Climate Footprint. URL: <https://noharm-uscanada.org/ClimateFootprintReport> (abgerufen am 03.03.2021)
- Hedenus F, Wirsenius S, Johansson DJA (2014). The importance of reduced meat and dairy consumption for meeting stringent climate change targets. *Climatic Change*, 124(1–2), 79–91. doi:10.1007/s10584-014-1104-5
- Herrmann A, de Jong L, Kowalski C, Sauerborn R (2019). Gesundheitliche Vorteile von Klimaschutzmaßnahmen – wie Haushalte und Politik profitieren können. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 62(5), 556–564.
- Herrmann A, Sauerborn R, Nilsson M (2020). The Role of Health in Households' Balancing Act for Lifestyles Compatible with the Paris Agreement – Qualitative Results from Mannheim, Germany. *International journal of environmental research and public health*, 17(4), 1297.
- Horton R, Beaglehole R, Bonita R, Raeburn J, McKee M, Wall S (2014). From public to planetary health: a manifesto. *The Lancet*, 383(9920), 847. doi:10.1016/S0140-6736(14)60409-8
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SREX). Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Masstrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley (Hrsg.) Intergovernmental Panel on Climate Change.

- IPCC. 2018. "Summary for Policymakers." In *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor and T. Waterfield (Hrsg.). Geneva.
- Jarrett J, Woodcock J, Griffiths UK, Chalabi Z, Edwards P, Roberts I, Haines A (2012). Effect of increasing active travel in urban England and Wales on costs to the National Health Service. *The Lancet*, 379(9832), 2198–2205.
- Kippnich M, Kowalzik B, Cermak R, Kippnich U, Kranke P, Wurmb T (2017). Katastrophen- und Zivilschutz in Deutschland. *AINS-Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie*, 52(09), 606–617.
- Klinsky S, Roberts T, Huq S, Okereke C, Newell P, Dauvergne P, Clapp J (2017). Why equity is fundamental in climate change policy research. *Global Environmental Change*, 44, 170–173.
- KLUG e.V., Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit (2020) Planetary Health Academy. URL: <https://planetary-health-academy.de/> (abgerufen am 03.03.2021)
- Lamothé D (2018). The New Arctic Frontier. *Washington Post*. URL: <https://www.washingtonpost.com/graphics/2018/world/arctic-climate-change-military-russia-china/> (abgerufen am 03.03.2021)
- Leal Filho W, de Miranda Azeiteiro U, and Alves F (2016). "Climate Change and Health: An Overview of the Issues and Needs." In *Climate change and health: improving resilience and reducing risks*, 1–11. Cham/Heidelberg.
- Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, Giannadaki D, Pozzer A (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. doi:10.1038/nature15371
- Lenton TM, Rockström J, Gaffney O et al. (2020) Climate Tipping Points – too risky to bet against. *Nature* Vol 575, 592–595
- Luber G, Knowlton K, Balbus J, Frumkin H, Hayden, Hess J, McGeehin M, Sheats N, Backer L, Beard CB, Ebi KL, Maibach E, Ostfeld RS, Wiedinmyer C, Zielinski-Gutiérrez E, Ziska L (2014). Ch. 9: Human Health. In *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*, J. Melillo, Terese Richmond and G. Yohe (Hrsg.), 220–256. U.S. Global Change Research Program.
- Machalaba C (2015). Climate Change and Health: Transcending Silos to Find Solutions. *Annals of Global Health* 81 (3):445–458.
- Maizlish N, Woodcock J, Co S, Ostro B, Fanai A, Fairley D (2013). Health cobenefits and transportation-related reductions in greenhouse gas emissions in the San Francisco Bay area. *American journal of public health*, 103(4), 703–709.
- Markandya A, Sampedro J, Smith S, Van Dingenen R, Pizarro-Irizar C, Arto I, González-Eguino M (2018). Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e126–e133.
- McMichael AJ (2013). Globalization, climate change, and human health. *The New England Journal of Medicine* 368 (14):1335.
- Mertz O, Halsnaes K, Olesen JE, Rasmussen K (2009). Adaptation to climate change in developing countries. *Environ Manage*, 43(5), 743–752. doi:10.1007/s00267-008-9259-3
- Morita H, Kinney P (2014). Wildfires, Air Pollution, Climate Change and Health. In: Butler C (Hrsg.) *Climate Change and Global Health*, 114–123. Canberra.
- NHS, National Health Service (2020) NHS becomes the world's first national health system to commit to become 'carbon net zero', backed by clear deliverable and milestones. URL: <https://www.england.nhs.uk/2020/10/nhs-becomes-the-worlds-national-health-system-to-commit-to-become-carbon-net-zero-backed-by-clear-deliverables-and-milestones/> (abgerufen am 03.03.2021)
- Nichols G, Lake I, Heaviside C (2018). *Climate Change and Water-Related Infectious Diseases*. *Atmosphere* 9 (10).
- Patz J, Corvalan C, Horwitz P, Campbell-Lendrum D, Watts N, Maiero M et al. (2012) *Our Planet, Our Health, Our Future – Human health and the Rio Conventions: biological diversity, climate change and desertification*. Geneva: World Health Organization.
- Pelling M, Garschagen M (2019). Put equity first in climate adaptation. In: *Nature Publishing Group*.
- Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H (2019). International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters*, 14(6).
- Quam VG, Rocklöv J, Quam M, Lucas RA (2017). Assessing greenhouse gas emissions and health co-benefits: a structured review of lifestyle-related climate change mitigation strategies. *International journal of environmental research and public health*, 14(5), 468.
- Rissel C, Curac N, Greenaway M, Bauman A (2012). Physical activity associated with public transport use – a review and modelling of potential benefits. *International journal of environmental research and public health*, 9(7), 2454–2478.
- Robinson PJ (2001). On the definition of a heat wave. *Journal of applied Meteorology*, 40(4), 762–775.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin III FS, Lambin E, Schellnhuber HJ (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*, 14(2).
- Rodgers SE, Bailey R, Johnson R, Poortinga W, Smith R, Berridge D, Lyons RA (2018). Health impact, and economic value, of meeting housing quality standards: a retrospective longitudinal data linkage study. *In Health impact, and economic value, of meeting housing quality standards: a retrospective longitudinal data linkage study*. Southampton (UK).
- Rogelj J, den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Meinshausen M (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 degrees C. *Nature*, 534(7609), 631–639.
- Rom WN, Pinkerton KE (2013). Introduction: Consequences of Global Warming to the Public's Health. In *Global Climate Change and Public Health*, Kent E. Pinkerton and William N. (Hrsg.), Rom, 1–20. New York et al.

- S4F, Scientists for Future (2019) Stellungnahme. URL: <https://www.scientists4future.org/stellungnahme/unterschriften/> (abgerufen am 03.03.2021)
- Sauerborn R, Kjellstrom T, Nilsson M (2009). Health as a crucial driver for climate policy. *Global Health Action*, 2(1), 2104.
- Schroth G, Laderach P, Dempewolf J, Philpott S, Hagggar J, Eakin H, Ramirez-Villegas J (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(7), 605–625. doi:10.1007/s11027-009-9186-5
- Semenza J (2014). Climate Change Adaptation to Infectious Diseases in Europe. In *Climate Change and Global Health*, Colin Butler (Hrsg.), 193–205. Canberra.
- Setti Freitas AF, Ribeiro H, Gallo E, Alves F, Azeiteiro UM (2016). Climate Change and Health: Governance Mechanisms in Traditional Communities of Mosaico Bocaina/Brazil. In: Leal Filho W, Azeiteiro UM, Alves F (Hrsg.) *Climate change and health: improving resilience and reducing risks*, 329–351. Cham/Heidelberg.
- Shukla J (2016). Extreme Weather Events: Addressing the Mental Health Challenges. In: Leal Filho W, Azeiteiro UM, Alves F (Hrsg.) *Climate change and health: improving resilience and reducing risks*, 15–27. Cham/Heidelberg.
- Siri-Tarino PW, Chiu S, Bergeron N, Krauss RM (2015). Saturated Fats Versus Polyunsaturated Fats Versus Carbohydrates for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment. *Annual Review of Nutrition*, 35(1), 517–543.
- Smith MR, Myers SS (2018). Impact of anthropogenic CO₂ emissions on global human nutrition. *Nature Climate Change* 8: 834–839.
- Smith KR, Mehta S (2003). The burden of disease from indoor air pollution in developing countries: comparison of estimates. *Int J Hyg Environ Health*, 206(4–5), 279–289.
- Tilman D, Clark M (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518–522.
- Umweltbundesamt (2020) Wasserqualität in Badegewässern. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/wasserqualitaet-in-badegewaessern#wie-erhalte-ich-informationen-zur-aktuellen-badegewasserqualitaet> (abgerufen am 03.03.2021)
- UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change (2015) Paris Agreement. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (abgerufen am 03.03.2021)
- United Nations, World Health Organization. 2009. *Protecting health from climate change: Connecting Science, Policy and People*. Geneva.
- Van der Linden S, Maibach E, Leiserowitz A (2015). Improving public engagement with climate change: Five “best practice” insights from psychological science. *Perspectives on Psychological Science*, 10(6), 758–763.
- Veenema TG, Thornton CP, Lavin RP, Bender AK, Seal S, Corley A (2017) Climate change-related water disasters’ impact on population health. *Journal of Nursing Scholarship*, 49(6), 625–34.
- Verner G, Schütte S, Knop J, Sankoh O, Sauerborn R (2016). Health in climate change research from 1990 to 2014: positive trend, but still underperforming. *Global Health Action*, 9(1), 30723. doi:10.3402/gha.v9.30723
- Viner D, Ekstrom M, Hulbert M, Warner NK, Wreford A, Zommers Z (2020). Understanding the dynamic nature of risk in climate change assessments—A new starting point for discussion. *Atmospheric Science Letters*, 21(4). doi:10.1002/asl.958
- Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, Costello A (2015a). Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet*, 386(10006), 1861–1914. doi:10.1016/S0140-6736(15)60854-6
- Watts N, Campbell-Lendrum D, Maiero M, Fernandez Montoya L, Lao K (2015b). *Strengthening Health Resilience to Climate Change – Technical Briefing for the World Health Organization Conference on Health and Climate*. Geneva: United Nations, World Health Organization.
- WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011) *Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*. Berlin. ISBN 978-3-936191-38-7. URL: <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation#sektion-downloads> (abgerufen am 03.03.2021)
- Whitmee S, Haines A, Beyrer C, Boltz F, Capon AG, de Souza Dias BF, Yach D (2015). Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *Lancet*, 386(10007), 1973–2028. doi:10.1016/S0140-6736(15)60901-1
- WHO (2020) WHO guidance for climate-resilient and environmentally sustainable health care facilities. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-001222-6
- WHO. (2015). *Operational framework for building climate resilient health systems* (ISBN 978 92 4 156507 3). Retrieved from Geneva, Switzerland:
- Wilkinson P, Smith KR, Davies M, Adair H, Armstrong BG, Barrett M, Chalabi Z (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy. *The Lancet*, 374(9705), 1917–1929. doi:10.1016/S0140-6736(09)61713-x
- World Health Organization, United Nations, and United Nations World Meteorological Organization. (2012). *Atlas of Health and Climate*. Geneva: World Health Organization.
- Xu Z, FitzGerald G, Guo Y, Jalaludin B, Tong S (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: a systematic review and meta-analysis. *Environment international*, 89, 193–203.
- Zacharias S, Koppe C, Mücke HG (2015). Climate change effects on heat waves and future heat wave-associated IHD mortality in Germany. *Climate*, 3(1), 100–117.
- Zhu C, Kobayashi K, Loladze I, Zhu J, Jiang Q, Xu X, Liu G, Seneweera S, Ebi KL, Drewnowski A, Fukagawa NK, Ziska LH. (2018). Carbon dioxide (CO₂) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. *Scientific Advancements* 4(5): eaaq1012.
- Ziska LH (2016). Impacts of Climate Change on Allergen Seasonality. In *Impacts of Climate Change on Allergens and Allergic Diseases*, Paul Beggs (Hrsg.), 92–112. Cambridge.



Dr. med. Alina Herrmann

Alina Herrmann studierte in Heidelberg Medizin und promovierte am dortigen Global Health Institut zur Rolle von Hausärzten im Gesundheitsschutz älterer Menschen in Hitzewellen. In ihrer weiteren Tätigkeit als Wissenschaftlerin beschäftigt sich Alina Herrmann vor allem mit gesundheitlichen Co-Benefits von Klimaschutzmaßnahmen im europäischen und afrikanischen Kontext. Als Weiterbildungsassistentin für Allgemeinmedizin ist sie außerdem besonders an Handlungsmöglichkeiten zu Klimaschutz und -anpassung innerhalb des Gesundheitssystems und der Gesundheitsberufe interessiert.



Prof. Dr. Ina Danquah

Ina Danquah hat in Potsdam und Accra (Ghana) Ernährungswissenschaft studiert. Sie promovierte am Institut für Tropenmedizin und Internationale Gesundheit, Charité – Universitätsmedizin Berlin zu den Beziehungen zwischen Ernährungszustand, Malaria und Typ-2-Diabetes. Ina Danquah erhielt einen Master of Science in Epidemiologie von der London School of Hygiene and Tropical Medicine und habilitierte sich am Institut für Sozialmedizin, Epidemiologie und Gesundheitsökonomie der Charité Berlin im Fach Epidemiologie und Public Health. Durch die vielschichtigen Untersuchungen zu Unter- und Überernährung bei afrikanischen Bevölkerungsgruppen hat sie sich in ihrer Forschung den Möglichkeiten zur Klimaanpassung und -abschwächung in Bezug auf Ernährung zugewandt. Dafür erhielt sie 2019 die Robert Bosch-Juniorprofessur für die Erforschung der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen.



Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

3 Der Einfluss von Temperatur auf die Mortalität

Elke Hertig und Alexandra Schneider

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-3, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Lufttemperaturen, vor allem ihre Extreme wie Hitze- oder Kältewellen, haben einen signifikanten Einfluss auf die Mortalität. Es wurden verschiedene pathophysiologische Mechanismen identifiziert, die zu einer Erhöhung der Mortalität führen, vor allem in Bezug auf kardiovaskuläre und respiratorische Erkrankungen. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts und Beginn des 21. Jahrhunderts ließen sich noch mehr Sterbefälle aufgrund von Kälteereignissen im Vergleich zu Hitzeereignissen beobachten, wobei sich dieses Verhältnis aufgrund des fortschreitenden Klimawandels deutlich in Richtung der hitzebedingten Mortalität verschiebt. Sowohl bei Hitze- als auch Kälteextremen ist die Erhöhung der Mortalität in älteren Bevölkerungsgruppen besonders ausgeprägt, sodass demografische Veränderungen im Hinblick auf „alternde Gesellschaften“ das Risiko weiter verschärfen werden.

Air temperature, and particularly its extremes like heat and cold waves, exert a significant impact on mortality. Different pathophysiological mechanisms have been identified which lead to a mortality increase, most notably with respect to cardiovascular and respiratory diseases. At the end of the 20th century and beginning of the 21st century cold-related mortality still exceeded heat-related mortal-

ity, but this proportion is shifted significantly towards heat-related mortality due to ongoing climate change. Mortality associated with heat as well as with cold extremes is particularly pronounced in the elderly population. Thus, demographic changes with respect to “aging societies” will further aggravate the risk.

3.1 Einführung

Eine der unmittelbarsten Umwelt-Mensch-Beziehungen betrifft die Einwirkung der atmosphärischen Umwelt auf den Menschen und hier vor allem der Lufttemperatur. Anhaltende Exposition gegenüber hohen Lufttemperaturen kann hitzebedingte Erkrankungen wie Hitzekrämpfe, Hitzeohnmacht, Hitzeerschöpfung und Hitzschlag hervorrufen. Epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass hohe Umgebungstemperaturen mit einer erhöhten Sterblichkeit der Bevölkerung verbunden sind. Dabei führen thermische Belastungen jedoch nicht nur zu einer Zunahme von direkt mit thermischen Extremen assoziierten Todesfäl-

len, sondern es kommt insbesondere auch zu Todesfällen, die auf schwere Grunderkrankungen, wie kardiovaskuläre und respiratorische Erkrankungen, zurückzuführen sind (Eis et al. 2010). Zusammenhänge zwischen atmosphärischen Temperaturen und Morbiditäts- und Mortalitätsraten sind seit längerer Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, jedoch erst seit Beginn der 1990er-Jahre wird auch dem Einfluss des globalen Klimawandels verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt (Gosling et al. 2009). Für die thermische Belastung spielen, neben der erhöhten Lufttemperatur, auch erhöhte Wasserdampfdruckwerte der Luft, hohe Einstrahlungswerte und geringe Ventilationsmöglichkeiten eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus sind Anzahl, Frequenz, Intensität und Dauer der thermischen Belastung von entscheidender Bedeutung (Amengual et al. 2014). Im Rahmen des Auftretens von durch spezifische Wetterlagen induzierten großräumigeren Temperaturextremen kann durch die städtische Überwärmung eine zusätzliche thermische Belastung der städtischen Bevölkerung im Vergleich zu Umlandstandorten resultieren (Memon u. Leung 2008). Besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen stellen insbesondere ältere Menschen mit stark eingeschränkter Gesundheit und geringen Sozialkontakten dar, aber auch Kleinkinder sind überdurchschnittlich gefährdet (Eis et al. 2010).

Der folgende Text zeigt zunächst die physiologischen Effekte auf, die aus der Exposition gegenüber Temperaturextremen resultieren und erläutert die epidemiologische Evidenz von Temperatur-Mortalitäts-Zusammenhängen. Anschließend erfolgt eine regionale und thematische Schwerpunktsetzung auf die Hitzemortalität in Deutschland. Schließlich wird auf Veränderungen im Rahmen des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts und der daraus resultierenden erheblichen Erhöhung der temperaturbedingten Mortalität eingegangen.

3.2 Physiologische Effekte von Temperaturextremen

Thermoregulation ist die Fähigkeit eines Organismus, eine optimale Temperatur für die chemischen Reaktionen im Körper aufrechtzuerhalten, auch wenn die Umgebungstemperaturen variieren. Dazu verfügt das Thermoregulationssystem über eine Reihe von physiologischen Mechanismen (Kenny et al. 2010). Hyperthermie oder Hypothermie tritt auf, wenn der Körper zu lange hohen bzw. niedrigen Temperaturen ausgesetzt ist.

Studien über Hitzewellen haben einen Anstieg der kardiorespiratorischen Mortalität und Morbidität (z.B. Phung et al. 2016; Li et al. 2015; Bobb et al. 2014) während Phasen mit erhöhten Umgebungstemperaturen gezeigt. Zu den Ursachen der hitzebedingten kardiovaskulären Mortalität gehören z.B. Myokardinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall. Wärmebedingte Morbidität, erfasst als Notfallversorgung und Krankenhauseinweisungen, wurde für z.B. Nierenerkrankungen, Schlaganfall, entzündliche Darmerkrankungen, infektiöse Gastroenteritis und Atemwegserkrankungen gemeldet (Li et al. 2015).

Mit Bezug auf kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität wurden mehrere pathophysiologische Mechanismen vorgeschlagen, die die gefundenen Assoziationen mit Hitzestress erklären könnten (Stewart et al. 2017). So kann eine erhöhte Durchblutung an der Körperoberfläche und Schwitzen, gefolgt von Dehydrierung und Salzverlust, zu einer erhöhten Arbeitslast des Herzens als Kompensationsreaktion des Kreislaufs zur Aufrechterhaltung des Herzminutenvolumens (Schneider et al. 2008b; Sprung 1980) und des fallenden Blutdrucks führen. So waren beispielsweise höhere Temperaturniveaus mit einer Senkung des systolischen und diastolischen Blutdrucks in einem Panel von Patienten einer Herzrehabilitation assoziiert (Giorgini et al. 2015). Ferner kann es zum Problem der Hämokonzentration und zu einem „thrombosefördernden“ Zustand durch die

Freisetzung von Blutplättchen in den Blutkreislauf, die Zunahme der Anzahl der roten und weißen Blutzellen als auch die Erhöhung der Blutviskosität und des Plasmacholesterins kommen (Breitner et al. 2014; Nayha 2005; Keatinge et al. 1986). Insbesondere wurde z.B. in der nordamerikanischen Normative Aging Study in Assoziation mit einem Temperaturanstieg eine Abnahme des Serumlevels von High Density Lipoprotein (HDL) und ein Anstieg im Low Density Lipoprotein (LDL) gefunden (Halonen et al. 2011a). Gleiches zeigt sich auch in einer großen chinesischen Studie aus Jinan mit fünf wiederholten Messungen (Zhou et al. 2016), allerdings nur für die weiblichen Studienteilnehmerinnen. Darüber hinaus beobachteten Wilker et al. (2012) bei Herzinsuffizienz-Patienten Zusammenhänge zwischen Temperatur und natriuretischem B-Typ Peptid (BNP) und C-reaktivem Protein (CRP) – beides Prädiktoren für die Prognose und Schwere der Herzinsuffizienz. Es wird angenommen, dass die meisten der hitzebedingten plötzlichen Todesfälle auf eine kongestive Herzinsuffizienz zurückzuführen sind, die als wichtiger prognostischer Faktor bei Patienten mit Hitzschlag (Argaud et al. 2007) und als starker Faktor für die Sterblichkeit im Krankenhaus an heißen Tagen (Stafoggia et al. 2008) identifiziert wurde. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass Hitze stress die Freisetzung von Interleukinen wie Interleukin-1 (IL-1) und Interleukin-6 (IL-6) induziert, die lokale und systemische Entzündungsreaktionen modulieren (Bouchama u. Knochel 2002) und zur Schädigung und Überaktivierung von Endothelzellen führen können. Moderate Temperaturanstiege zeigten zudem auch verschiedene im Blut gemessene Metaboliten, die in Zusammenhang mit kardiovaskulären Erkrankungen stehen. In der Studie von Hampel et al. (2016) stiegen Glycin, Acylcarnitin (hier C16-OH:C14:1-DC) und Asparaginsäure/Asparagin um 1,4% bis 3,2% in Assoziation mit einem Anstieg der Temperatur um 5°C mit zeitlich leicht unterschiedlichen Verzögerungen. Glycin ist eine proteinogene Amino-

säure und erhöhte Werte wurden bisher im Vergleich zu Gesunden bei Patienten mit Herzinsuffizienz und arterieller Fibrillation festgestellt (Deidda et al. 2015; Hakuno et al. 2015; Mayr et al. 2008). Acylcarnitine sind in den katabolischen Prozess der Fettsäuren in den Mitochondrien involviert. Freie Fettsäuren können die Zellmembran nicht durchdringen, sondern werden mithilfe von Acylcarnitinen ins Mitochondrium transportiert (Schooneman et al. 2013). Es wird angenommen, dass mit höheren Acylcarnitin-Konzentrationen eine ineffiziente β -Oxidation und mitochondriale Dysfunktion einhergehen (Rizza et al. 2014).

Bei Morbidität und Mortalität von Atemwegserkrankungen sind die zugrundeliegenden Mechanismen weniger klar und treten oft in Kombination mit den oben beschriebenen kardiovaskulären Effekten auf. Meistens scheinen Menschen mit bereits bestehenden Atemwegserkrankungen betroffen zu sein. Die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) ist in der älteren Bevölkerung einer der häufigsten Gründe für Krankenhauseinweisungen aufgrund Atemwegserkrankungen in Verbindung mit Hitzeexposition (Viegi et al. 2007; Michelozzi et al. 2009). Michelozzi et al. (2009) nehmen an, dass Patienten mit COPD während eines extremen Hitzeereignisses hyperventilieren können, was das Risiko einer dynamischen Hyperinflation erhöht und zu Dyspnoe und mechanischen bzw. kardiovaskulären Effekten führen kann. Darüber hinaus können Veränderungen im Blut in Richtung Gerinnungsförderung das Risiko, einen pulmonalen Gefäßwiderstand zu entwickeln, erhöhen. Zudem können diese Gefäßveränderungen durch die Aktivierung des Komplementsystems ein Atemnotsyndrom auslösen (Michelozzi et al. 2009; Malik et al. 1983).

Aber auch niedrige Umgebungstemperaturen können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen und Mortalität führen. Während sich in den meisten Studien die Wärme- bzw. Hitzeeinwirkung als unmittelbarer erwiesen hat (Breitner et al. 2014; Anderson u. Bell 2009),

werden Kälteeinwirkungen in der Regel mit einer Verzögerung von mehreren Tagen oder sogar Wochen festgestellt (Breitner et al. 2014; Liu et al. 2011). Es ist daher plausibel anzunehmen, dass sich die pathophysiologischen Mechanismen für Wärme- und Kälteeinwirkung unterscheiden.

Es wurden mehrere pathophysiologische Mechanismen vorgeschlagen, welche möglicherweise die gefundenen Assoziationen zwischen niedrigen Lufttemperaturen und kardiorespiratorischer Morbidität und Mortalität erklären können (Stewart et al. 2017). Sobald die Umgebungstemperaturen unter einen von der geografischen Lage abhängigen Wert sinken, kommt es zu folgenden Reaktionen im Körper:

- a) Die Kälterezeptoren in der Haut werden stimuliert und die Hautgefäße verengen sich, um den vom sympathischen Nervensystem über Katecholamine regulierten Wärmeverlust zu reduzieren (Liu et al. 2011; Elwood et al. 1993). Herzfrequenz und Blutdruck steigen (Halonen et al. 2011b; Madaniyazi et al. 2016), was zu einer Erhöhung des Blutvolumens pro Schlag und damit zu einem steigenden Sauerstoffbedarf führt (Schneider et al. 2008b). Durch den erhöhten Blutdruck werden bis zu ein Liter Blutplasma von der Haut und den Beinen in zentrale Körperteile verschoben und dann entweder über den Urin „entsorgt“ oder in extrazelluläre Räume verschoben. Die Verschiebung des Blutplasmas führt zu einer Hämokonzentration, ähnlich wie bei hohen Temperaturen. Der erhöhte Blutdruck kann auch zu Sauerstoffmangel im Herzmuskel führen, der möglicherweise eine myokardiale Ischämie oder Arrhythmien auslöst. Bei einem zu plötzlichen Anstieg des Blutdrucks besteht die Möglichkeit eines Gefäßkrampfes und eines Bruchs von atherosklerotischen Plaques, gefolgt von einer Thrombusbildung (Schneider et al. 2008b; Nayha 2005; Keatinge et al. 1986);
- b) Veränderungen im Blut können das Risiko von kardiovaskulären Ereignissen erhöhen. Zum Beispiel wurden signifikante Erhöhungen von Fibrinogen und Faktor VII – beides wichtige Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Ridker u. Hennekens 1991) – im Zusammenhang mit Kälte bei älteren Menschen nachgewiesen (Schäuble et al. 2012; Hampel et al. 2010; Schneider et al. 2008a). Konsistent über viele Studien zeigt sich bezüglich Lipidparametern (z.B. Gesamtcholesterin, LDL), Entzündungs- und Koagulationsmarkern (z.B. CRP, Fibrinogen) als auch in Bezug auf Herzfrequenz und Blutdruck ein sehr klarer saisonaler Zusammenhang mit höheren Werten im Winter bzw. der kalten Jahreszeit und niedrigeren Werten im Sommer bzw. der warmen Jahreszeit (Hopstock et al. 2013; Nadif et al. 2019; Ockene et al. 2004; Skutecki et al. 2019). Darüber hinaus können Infektionen im Winter zu einer akuten Phasenreaktion führen, durch die es zu einer Erhöhung der genannten Blutmarker kommt, welche das Risiko für ischämische Herzerkrankungen ansteigen lässt. Aber auch Tag-zu-Tag-Schwankungen der Lufttemperatur zeigen deutliche Effekte. So fanden Wu et al. (2017) in einer Studie in Peking mit bis zu zwölf Messwiederholungen an 40 gesunden Erwachsenen deutliche Zunahmen der aus mehreren Blutmarkern gebildeten Indizes „Systemische Inflammation“, „Systemischer oxidativer Stress“, „Koagulation“, „Antioxidative Aktivität“ und „Endothelfunktion“ in Assoziation mit einem Abfall des Temperaturmittels der vorhergehenden zwei Tage. Auch in der amerikanischen Normative Aging Study waren starke temperaturabhängige Anstiege des CRPs, des löslichen Intercellular Adhesion Molecule-1 (sICAM-1) und des löslichen Vascular Cell Adhesion Molecule-1 (sVCAM-1) zu verzeichnen, allerdings in Zusammenhang mit einem Abfall der mittleren Lufttemperatur über vier Wochen (Halonen et al. 2010). Desweiteren

konnten Basu et al. (2017) in der Study of Women's Health Across the Nation (SWAN, durchgeführt in 5 US-Bundesstaaten) zeigen, dass in der kalten Jahreszeit Temperaturabfälle der sogenannten „Apparent Temperature“ (das vom Menschen wahrgenommene Temperaturäquivalent, das durch die kombinierten Auswirkungen von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit verursacht wird) zu verstärkter Gerinnungsbereitschaft führen. Daran sind Zunahmen von Gerinnungsfaktoren wie z.B. Fibrinogen und eine Abnahme der entgegengerichteten fibrinolytischen Aktivität beteiligt.

Insgesamt zeigt sich anhand dieses Überblicks über die bestehende Literatur allerdings, dass bzgl. der Pathophysiologie der Außenluft-Temperatureinwirkungen auf die menschliche Gesundheit noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Ziel ist es, diese Forschungslücke z.B. mit Daten aus langjährigen Kohortenstudien, wie z.B. der Augsburger KORA-Kohorte („Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg: <https://www.helmholtz-muenchen.de/kora/fuer-wissenschaftler/ueberblick-kora-kohorte/index.html>) und der deutschlandweiten NAKO-Gesundheitsstudie (<https://nako.de>; German National Cohort [GNC] Consortium 2014; Schipf et al. 2020) zu schließen. Es ist z.B. durchaus noch nicht geklärt, warum Änderungen der Außentemperatur über alle geografischen Regionen hinweg konsistente gesundheitliche Auswirkungen haben, obwohl vor allem ältere Menschen die meiste Zeit in Innenräumen verbringen. Gerade in Hinblick auf eine alternde Bevölkerung sind die psychische Gesundheit bzw. kognitive Funktion ein sich neu eröffnendes Forschungsgebiet, bei dem Umweltstressoren wie die Lufttemperatur sicherlich eine Rolle spielen (Lacruz et al. 2010). Darüber hinaus ist das Zusammenspiel mit der Luftverschmutzung aus statistischer, aber auch pathophysiologischer Sicht recht komplex.

3.3 Epidemiologische Evidenz der Zusammenhänge von Temperatur und Mortalität

Zahlreiche Studien verdeutlichen, dass Kälte und Hitze ein signifikant erhöhtes Mortalitätsrisiko bedingen. Eine Meta-Analyse von Bunker et al. (2016) ergab, dass die Erhöhung der Temperatur um 1°C die kardiovaskuläre Mortalität um 3,44% [95% Konfidenzintervall 3,10–3,78], die respiratorische Mortalität um 3,60% [3,18–4,02] und die zerebrovaskuläre Mortalität um 1,40% [0,06–2,75] in der älteren Bevölkerung erhöht. In Bezug auf Kälte erhöhte ein Rückgang der Temperatur von 1°C die respiratorische Mortalität um 2,90% [1,84–3,97] und die kardiovaskuläre Mortalität um 1,66% [1,19–2,14] in der älteren Bevölkerung. In einer länderübergreifenden Studie von Gasparrini et al. (2015) variierte die Temperatur des geringsten Mortalitätsrisikos zwischen den tropischen und außertropischen Regionen, was auf eine unterschiedliche Temperaturanpassung der Bevölkerungen hindeutet. Es wurde ein Anstieg von 7,71% [95% Konfidenzintervall 7,43–7,91] der Gesamtmortalitätsraten bei Auftreten nicht-optimaler Temperaturen festgestellt, wobei sich substanziale Unterschiede zwischen den untersuchten Ländern zeigten. Darüber hinaus variierte die Temperatur des geringsten Mortalitätsrisikos zwischen den tropischen und außertropischen Regionen, was auf eine unterschiedliche Temperaturanpassung der Bevölkerungen hindeutet.

Insgesamt ließen sich im betrachteten Zeitraum Ende des 20. Jahrhunderts/Beginn des 21. Jahrhunderts mehr Sterbefälle aufgrund von Kälteereignissen im Vergleich zu Hitzeereignissen beobachten (Gasparrini et al. 2015). In Hinblick auf Kälteeinflüsse, die in den Wintermonaten auftreten, zeigen Untersuchungen für verschiedene Städte in Europa, dass der Rückgang um 1°C des Tagesminimums der gefühlten Temperatur (die gefühlte Temperatur ist ein Maß für die Unbehaglichkeit und berücksichtigt hier neben der Lufttemperatur auch die Luftfeuchte) zu einer signifikanten Erhöhung

der kardiovaskulären und respiratorischen Mortalität von durchschnittlich 1,72% [95% Konfidenzintervall 1,44–2,01] bzw. 3,30% [2,61–3,99] führt (Analitis et al. 2008).

Für hohe gefühlte Temperaturen (Hitze) in den warmen Monaten des Jahres ergibt sich ein Anstieg der kardiovaskulären Mortalität von rund 3% ab Überschreitung der Temperatur von ca. 23°C (nördlicheres Europa) bzw. ca. 29°C (Südeuropa) (Baccini et al. 2008). Dabei lässt sich eine gewisse zeitliche Verzögerung zwischen dem Auftreten der Hitzewelle und der Erhöhung des Mortalitätsrisikos feststellen, die jedoch meist innerhalb einer Woche nach dem Hitzeereignis zu liegen kommt. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch auch, dass es zu einem gewissen „mortality displacement“-Effekt kommt, d.h. der Vorverlegung des Todeintrittsdatums bei Personen, die vermutlich ohnehin bald verstorben wären. Nach Hitzewellen liegt dann oft eine Periode von einigen Tagen vor, in der die Mortalität unter die erwartete Mortalität fällt. Des Weiteren scheinen Hitzeereignisse, die relativ früh im Jahr auftreten, einen stärkeren Einfluss zu haben, da hier noch eine geringere Akklimatisation der Bevölkerung vorliegt (Analitis et al. 2008). Sowohl bei Hitze- als auch Kälteextremen ist die Erhöhung der Mortalität in älteren Bevölkerungsgruppen besonders ausgeprägt (Baccini et al. 2008; Analitis et al. 2008), sodass demografische Veränderungen im Hinblick auf „alternde Gesellschaften“ das Risiko weiter verschärfen werden. Die Zunahme des hitzebedingten Mortalitätsrisikos wird weiterhin durch den Klimawandel sowie den hohen Bevölkerungsanteil in Städten gesteigert, der durch den städtischen Wärmeinseleffekt einer zusätzlichen thermischen Belastung ausgesetzt ist.

3.4 Hitze und Mortalität in Deutschland

Auch in Deutschland können Städte als „Hot Spots“ der Wärmebelastung und damit verbundenen Mortalität gesehen werden. Aufgrund

der urbanen Struktur, Oberfläche und Bausubstanz ergeben sich ausgeprägte räumliche Variationen der Temperatur (Oke 2006). Da die einzelnen Glieder der Strahlungs- und Wärmebilanz in Städten im Vergleich zum Umland modifiziert sind, baut sich in mitteleuropäischen Städten in der Regel vor allem in den Sommermonaten eine städtische Wärmeinsel in den Abendstunden auf, die bis in die frühen Morgenstunden andauert (Kuttler 2010). Als entscheidende meteorologische Einflussfaktoren für das Auftreten einer ausgeprägten urbanen Überwärmung und damit einer erhöhten Wärmebelastung sind sommerliche Hochdruckwetterlagen, geringer Bewölkungsgrad und geringe Windgeschwindigkeiten zu nennen (Merkenschlager et al. 2019; Matzarakis 2001; Oke 1982). Für die Hitzewelle im Jahr 1994 betrug die Übersterblichkeit in manchen Teilen Berlins über 50%, wobei sich vor allem die hohen nächtlichen Temperaturen aufgrund fehlender nächtlicher Erholungsmöglichkeiten auswirkten (Gabriel u. Endlicher 2011). Während der Hitzewelle im Jahr 2003, die in ganz Europa zu insgesamt mehr als 70.000 Todesfällen führte (Robine et al. 2008), stieg auch in vielen Städten Süd- und Westdeutschlands die Mortalitätsrate. So wurde zum Beispiel für die Stadt Freiburg eine Übersterblichkeit von 33% festgestellt (Bittner et al. 2013), für Essen wurde ein Anstieg der kardiovaskulären Mortalität um 30% und der respiratorischen Mortalität sogar um 61% verzeichnet (Hoffmann et al. 2008). Für Gesamtdeutschland wurde für bestimmte Jahre (2003, 2006, 2010, 2013, 2015) im Zeitraum 2001 bis 2015 eine signifikant erhöhte Anzahl hitzebedingter Todesfälle geschätzt, die insgesamt in der Größenordnung von ca. 27.000 Todesfällen lag (an der Heiden et al. 2019). Tabelle 1 gibt einen Überblick über einige ausgewählte Studien zur Auswirkung von Hitze auf Mortalität in Deutschland.

Neben den Städten, die durch die Kombination von demografischen Veränderungen (meist weitere Zunahme des Anteils an städtischer Bevölkerung insgesamt und Erhöhung

Tab. 1 Ausgewählte Studien zum Zusammenhang zwischen Hitze und Mortalität in Deutschland

Region	Exposition	Outcome	Ergebnisse	Referenz
Deutschland	mittlere wöchentliche Lufttemperatur	möchentliche Mortalität in den drei Zeiträumen 1992–2000, 2001–2010, 2011–2017	die stärksten Effekte 1994 mit rund 10.200 und 2003 mit rund 9.600 hitzebedingten Sterbefällen; Abnahme des Effekts von Hitze auf Mortalität über den untersuchten Zeitraum	an der Heiden et al. 2020
Deutschland	Hitzeindikatoren basierend auf Lufttemperatur, Humidex, gefühlter Temperatur	wöchentliche Gesamtsterblichkeit nach Bundesländern und Altersjahrgängen im Zeitraum 2001–2015	höchste Gesamtzahl hitzebedingter Todesfälle in Deutschland im Sommer 2003 mit 7.600 (95%-KI: 5.500;9.900), gefolgt von den Sommern im Jahr 2006 mit 6.200 (95%-KI: 4.000; 8.000) Todesfällen und im Jahr 2015 mit 6.100 (95%-KI: 4.000; 8.300)	an der Heiden et al. 2019
Baden-Württemberg	Hitzeindikatoren basierend auf Lufttemperatur, Humidex	tägliche Gesamt mortalität im Zeitraum 1968–2015	7,9% Übersterblichkeit im Jahr 2003 und 5,8% im Jahr 2015	Muthers et al. 2017
Bayern	Hitzewellendefinitionen basierend auf Lufttemperatur	tägliche Gesamt mortalität in 15 bayerischen Städten im Zeitraum 2003–2017	ca. 30 zusätzliche Todesfälle pro 100.000 Einwohner durch Hitzewellen im Zeitraum 2003–2017	Hertig et al. 2020
Bayern	mittlere tägliche Lufttemperatur	tägliche Mortalität nach Alter und Ursachen für 3 bayerische Städte (München, Nürnberg, Augsburg) im Zeitraum 1990–2006	Erhöhung der Mortalität um 11,4% (95%-KI: 7,6%;15,3%) bei Erhöhung der Temperatur von 20°C auf 24,8°C; stärkere Effekte bei über 85-Jährigen und für respiratorische Mortalität	Breitner et al. 2014
Berlin und Brandenburg	Hitzeindikatoren basierend auf Lufttemperatur, gefühlter Temperatur	tägliche Mortalität nach Alter und Geschlecht im Zeitraum 1990–2006	44,7% Übersterblichkeit in Berlin, 32,3% in Brandenburg im Jahr 1994; 19,2% Übersterblichkeit in Berlin, 16% in Brandenburg im Jahr 2006; erhöhte Vulnerabilität älterer Bevölkerung, insbesondere Frauen	Gabriel u. Endlicher 2011
Frankfurt	Temperaturen und Hitzewellendefinition	tägliche Mortalität nach Alter im Zeitraum 2003–2013	für Hitzewelle 2003 Übersterblichkeit insgesamt 78% und bei über 80-Jährigen 113%; für Hitzewelle 2010 23% und bei über 80-Jährigen 38%; hingegen keine signifikante Übersterblichkeit für Hitzewellen 2006 und 2013	Heudorf u. Schade 2014
Essen	Lufttemperatur	tägliche Mortalität nach Ursachen im Zeitraum 2000–2006	relatives Risiko für Hitzewelle 2003 insgesamt 1,28 (95% KI: 1,06;1,53); höhere Werte für respiratorische Mortalität	Hertel et al. 2009

des Anteils der besonders vulnerablen älteren Bevölkerungsgruppe) und lokalen Effekten der Urbanisierung (urbane Überwärmung und Konzentration von Luftschadstoffen), beson-

ders stark betroffen sind, kann eine deutliche regionale Differenzierung der thermischen Belastung in Deutschland aufgrund der unterschiedlichen klimageografischen Gegebenhei-

ten festgestellt werden. So sind in Deutschland vor allem die tieferen Lagen im Südwesten am häufigsten wärmebelastet, insbesondere der Oberrheingraben, wohingegen Helgoland, die Gipfellagen der Alpen und der höheren Mittelgebirge sowie die unmittelbaren Küstenbereiche von Nord- und Ostsee nicht oder kaum von extremer Wärmebelastung betroffen sind (DWD 2020).

3.5 Projektionen unter Fortgang des Klimawandels

Der direkteste und unmittelbarste Ausdruck des sich wandelnden Klimas zeigt sich durch eine Zunahme der globalen Mitteltemperaturen und der erhöhten Häufigkeit, Intensität und Dauer von Hitzeextremen. Die Hitze-Vulnerabilität der älteren Bevölkerung steigt weiter an, wobei die westpazifische Region, Südostasien und Afrika eine Erhöhung der Hitzeverwundbarkeit von über 10% seit dem Jahr 1990 aufweisen (Watts et al. 2019). Insgesamt bleibt derzeit Europa die gefährdetste Region, dicht gefolgt vom östlichen Mittelmeerraum, aufgrund der alternden Bevölkerung, dem hohen Grad der Verstädterung und der hohen Prävalenz kardiovaskulärer und respiratorischer Erkrankungen sowie Diabetes (Watts et al. 2019). Besonders prekär erscheint die Tatsache, dass sich ein Großteil der Weltbevölkerung in Gebieten konzentriert, die durch besonders starke Temperaturzunahmen gekennzeichnet sind. Im Jahr 2018 wurde mit Bezug auf den Referenzzeitraum 1986–2005 ein Anstieg von 220 Millionen Fällen einer Hitzewellenbelastung der älteren Bevölkerung (> 65 Jahre) verzeichnet, wobei vor allem Indien, Zentral- und Nordeuropa sowie Nordost-Asien betroffen waren (Watts et al. 2019).

Obwohl Projektionen von Temperaturextremen und assoziierter Mortalität noch mit Unsicherheiten behaftet sind, gilt es als sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen häufiger, intensiver und länger andauern werden (Fischer

u. Schär 2010). Neben den Unsicherheiten, die aus den verwendeten Szenarien und Klimamodellen resultieren, müssen bei Projektionen demografische Veränderungen sowie mögliche Akklimatisierungseffekte berücksichtigt werden. Im Rahmen des voranschreitenden Klimawandels ist aber zweifellos zu erwarten, dass sich das thermische Belastungsrisiko verschiebt. Aufgrund des Anstiegs der Lufttemperaturen ist mit einer Abnahme der kältebedingten Mortalität zu rechnen, während das hitzebedingte Mortalitätsrisiko zunehmen wird (Chen et al. 2019). Obwohl die hitzebedingten Todesfälle zunehmen werden, könnte sich jedoch die temperaturbezogene Gesamtmortalität, aufgrund des Rückgangs der kälteassoziierten Mortalität, zunächst nicht erhöhen. Mittel- und langfristig muss jedoch mit einer stärkeren Zunahme der Mortalität aufgrund von hohen Temperaturen gerechnet werden, die die Rückgänge der kälteinduzierten Mortalität übersteigt (Patz et al. 2005). Darüber hinaus könnten die adversen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels nicht nur mit einer höheren Durchschnittstemperatur zusammenhängen, an die sich der menschliche Körper langfristig eventuell anpassen könnte. Viel erheblicher sind vermutlich die ebenfalls durch den Klimawandel hervorgerufenen häufigeren und stärkeren kurzfristigen Temperaturschwankungen (Shi et al. 2015). Die gesundheitlichen Effekte durch kurzfristige Temperaturabfälle bleiben somit auch in Zeiten eines sich erwärmenden Klimas durchaus relevant.

Insgesamt zeigen die meisten Projektionen eine deutliche Zunahme der hitzebedingten Sterblichkeit. Eine globale Projektion ergibt unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte signifikante Zunahmen der hitzebedingten Übersterblichkeit vor allem für China, Indien und Europa bis Ende des Jahrhunderts (Takahashi et al. 2007). Für U.S.-amerikanische und kanadische Städte wird eine Erhöhung der Mortalität von bis zu 70% bis Mitte des 21. Jahrhunderts abgeschätzt (Kalkstein u. Greene 1997; Cheng et al. 2009). Für Europa ergeben sich im

Beobachtungszeitraum die stärksten Auswirkungen von Hitzeereignissen im südeuropäischen Raum (Barcelona, Rom, Valencia) sowie für kontinental gelegene Städte (Paris, Budapest) mit deutlichen Zunahmen bereits bis zum Jahr 2030.

Für Deutschland wird geschätzt, dass sich die jährliche Anzahl der Hitzewellen und Hitzewellentage auf im Durchschnitt 4 Hitzewellen mit insgesamt 23 Hitzewellentagen pro Jahr bis Ende des Jahrhunderts erhöht (Zacharias et al. 2015). Für bayerische Städte wird eine Erhöhung der Anzahl heißer Tage ($> 30^{\circ}\text{C}$) auf ein Drittel aller Tage in den Sommermonaten April bis September bis Ende des Jahrhunderts projiziert (Hertig et al. 2020). In Deutschland sind vor allem die südlichen Regionen betroffen, in denen sich die Anzahl der Hitzewellen besonders stark erhöhen könnte. Damit ist eine Zunahme der Mortalität aufgrund ischämischer Herzkrankheiten von derzeit ca. 350 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen auf 835 bis 1.800 zusätzliche Todesfälle verbunden, je nachdem, ob eine bessere Anpassung der Bevölkerung an Hitzeereignisse im Verlauf des 21. Jahrhunderts erfolgt (Zacharias et al. 2015).

3.6 Ausblick

Neben der Temperatur sind weitere Umweltfaktoren gesundheitsrelevant. Luftschadstoffe wie Feinstaub, Ozon, Stickoxide, Pollen, Schimmelpilze und Rauch von Waldbränden, aber auch Faktoren der bebauten Umwelt wie Lärm, städtische Wärmeinseln und Grünflächen interagieren mit dem sich wandelnden Klima und müssen ebenfalls Berücksichtigung finden, insbesondere in städtischen Gebieten (Zanobetti u. Peters 2015; Brauer u. Hystad 2014). Daher sind Studien mit einer umfassenden Bewertung dieser Umweltfaktoren und sorgfältig konzipierte multizentrische Studien mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen sowie ausgeklügelte Multischadstoff-Konzepte erfor-

derlich, um diese Herausforderungen zu bewältigen (Zanobetti u. Peters 2015).

Zur Information von Interessengruppen und politischen Entscheidungsträgern ist es notwendig, zukünftige Temperatur- und Luftschadstoffniveaus regional zu projizieren und die damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten durch die Wechselwirkung zwischen Temperatur und Luftverschmutzung, die Variation des Mortalitätsrisikos im Zeitablauf, die Anpassung der Bevölkerung und den demografischen Wandel mit einzubeziehen (wie z.B. in Li et al. 2016). Die Quantifizierung potenzieller regionaler und individueller Wirkungsmodifikatoren (z.B. städtische vs. ländliche Gebiete, Alterung, Multi-Morbidität) soll bei der Identifizierung besonders gefährdeter Subpopulationen helfen und als Basis für die Entwicklung spezieller Interventionen und Anpassungsstrategien dienen.

Literatur

- Amengual A, Homar V, Romero R, et al. (2014) Projections of heat waves with high impact on human health in Europe. *Global and Planetary Change* 119, 71–84.
- Analtis A, Katsouyanni K, Biggeri A, et al. (2008) Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol* 168(12), 1397–408.
- an der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A (2020) Heat-related mortality—an analysis of the impact of heatwaves in Germany between 1992 and 2017. *Dtsch Arztebl Int* 2020; 117: 603–9. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0603
- an der Heiden M, Muthers S, Niemann H, et al. (2019) Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 62(5), 571–79.
- Anderson BG, Bell ML (2009) Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology* 20(2), 205–13.
- Argaud L, Ferry T, Le QH, et al. (2007) Short- and long-term outcomes of heatstroke following the 2003 heat wave in Lyon, France. *Arch Intern Med* 167(20), 2177–83.
- Baccini M, Biggeri A, Accetta G, et al. (2008) Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* 19(5), 711–9.
- Basu R, May Wu X, Malig BJ, et al. (2017) Estimating the associations of apparent temperature and inflammatory, hemostatic,

- and lipid markers in a cohort of midlife women. *Environ Res* 152, 322–7.
- Bittner MI, Nübling M, Stössel U (2013) Heat-Related Mortality in Freiburg and Rostock in 2003 and 2005 – Methodology and Results. *Das Gesundheitswesen* 75(08/09), e126–e130.
- Bobb JF, Obermeyer Z, Wang Y, et al. (2014) Cause-specific risk of hospital admission related to extreme heat in older adults. *JAMA* 312(24), 2659–67.
- Bouchama A, Knochel JP (2002) Heat stroke. *N Engl J Med* 346(25), 1978–88.
- Brauer M, Hystad P (2014) Commentary: cities and health...let me count the ways. *Epidemiology* 25(4), 526–7.
- Breitner S, Wolf K, Devlin RB, et al. (2014) 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* 485–6, 49–61.
- Bunker A, Wildenhain J, Vandenbergh A, et al. (2016) Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly; a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *EBioMedicine*, 6, 258–68.
- Chen K, Breitner S, Wolf K, et al. (2019) Temporal variations in the triggering of myocardial infarction by air temperature in Augsburg, Germany, 1987–2014. *Eur Heart J* 40(20), 1600–08.
- Cheng CS, Campbell M, Li Q, et al. (2009) Differential and combined impacts of extreme temperatures and air pollution on human mortality in south-central Canada. Part II: future estimates. *Air Qual Atmos Health* 1(4), 223–35.
- Deidda M, Piras C, Dessalvi CC, et al. (2015). Metabolomic approach to profile functional and metabolic changes in heart failure. *J Transl Med* 13(1), 297.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2020) Unwetterklimatologie: Hitze. https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/hitze/hitze_node.html, abgerufen am 15.07.2020.
- Elwood PC, Beswick A, O'Brien JR, et al. (1993) Temperature and risk factors for ischaemic heart disease in the Caerphilly prospective study. *Br Heart J* 70(6), 520–3.
- Eis D, Helm D, Laußmann D, et al. (2010) Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. Hrsg.: Robert Koch-Institut, Berlin.
- Fischer EM, Schär C (2010) Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nat Geosci* 3, 398–403.
- Gabriel KM, Endlicher WR (2011) Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental pollution*, 159(8–9), 2044–50.
- Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et al. (2015) Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multi-country observational study. *The Lancet* 386(9991), 369–75.
- German National Cohort (GNC) Consortium (2014) The German National Cohort: aims, study design and organization. *Eur J Epidemiol.* 29(5), 371–82. doi: 10.1007/s10654-014-9890-7. PMID: 24840228; PMCID: PMC4050302.
- Giorgini P, Rubenfire M, Das R, et al. (2015) Particulate matter air pollution and ambient temperature: opposing effects on blood pressure in high-risk cardiac patients. *J Hypertens* 33(10), 2032–8.
- Gosling SN, Lowe JA, McGregor GR, et al. (2009) Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Climatic Change* 92, 299–341.
- Hakuno D, Hamba Y, Toya T (2015). Plasma amino acid profiling identifies specific amino acid associations with cardiovascular function in patients with systolic heart failure. *PLoSOne* 10(2), e0117325.
- Halonen JI, Zanobetti A, Sparrow D, et al. (2010) Associations between outdoor temperature and markers of inflammation: a cohort study. *Environ Health* 9, 42.
- Halonen JI, Zanobetti A, Sparrow D, et al. (2011a) Outdoor temperature is associated with serum HDL and LDL. *Environ Res* 111, 281–7.
- Halonen JI, Zanobetti A, Sparrow D, et al. (2011b) Relationship between outdoor temperature and blood pressure. *Occup Environ Med* 68, 296–301.
- Hampel R, Breitner S, Rückerl R, et al. (2010) Air temperature and inflammatory and coagulation responses in men with coronary or pulmonary disease during the winter season. *Occup Environ Med* 67(6), 408–16.
- Hampel R, Breitner S, Kraus WE, et al. (2016) Short-term effects of air temperature on plasma metabolite concentrations in patients undergoing cardiac catheterization. *Environ Res* 151, 224–32.
- Hertel S, Le Tertre A, Jöckel KH, et al. (2009) Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany. *European journal of epidemiology*, 24(8), 407–14.
- Hertig E (2020) Health-relevant ground-level ozone and temperature events under future climate change using the example of Bavaria, Southern Germany. *Air Quality, Atmosphere & Health* 13, 435–46.
- Hertig E, Russo A, Trigo RM (2020) Heat and Ozone Pollution Waves in Central and South Europe – Characteristics, Weather Types, and Association with Mortality. *Atmosphere*, 11(12), 1271.
- Heudorf U, Schade M (2014) Heat waves and mortality in Frankfurt am Main, Germany, 2003–2013. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 47(6), 475–82.
- Hoffmann B, Hertel S, Boes T, et al. (2008) Increased cause-specific mortality associated with 2003 heat wave in Essen, Germany. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(11–12), 759–65.
- Hopstock LA, Barnett AG, Bønaa KH, et al. (2013) Seasonal variation in cardiovascular disease risk factors in a subarctic population: the Tromsø Study 1979–2008. *J Epidemiol Community Health* 67(2), 113–8.
- Kalkstein L, Greene J (1997) An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect* 105, 84–93.
- Keatinge WR, Coleshaw SR, Easton JC, et al. (1986) Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. *Am J Med* 81(5), 795–800.
- Kenny GP, Yardley J, Brown C, et al. (2010) Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Cmaj* 182(10), 1053–60.

- Kuttler W (2010) Urbanes Klima. Teil 1. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 70 7/8, 329–340.
- Lacruz ME, Emeny RT, Bickel H, et al. (2010) Mental health in the aged: prevalence, covariates and related neuroendocrine, cardiovascular and inflammatory factors of successful aging. *BMC Med Res Methodol* 10, 36.
- Li M, Gu S, Bi P, et al. (2015) Heat waves and morbidity: current knowledge and further direction—a comprehensive literature review. *Int J Environ Res Public Health* 12(5), 5256–83.
- Li T, Horton RM, Bader DA, et al. (2016) Aging Will Amplify the Heat-related Mortality Risk under a Changing Climate: Projection for the Elderly in Beijing, China. *Sci Rep* 6, 28161.
- Liu L, Breitner S, Pan X, et al. (2011) Associations between air temperature and cardio-respiratory mortality in the urban area of Beijing, China: a time-series analysis. *Environ Health* 10, 51.
- Madaniyazi L, Zhou Y, Li S, et al. (2016) Outdoor Temperature, Heart Rate and Blood Pressure in Chinese Adults: Effect Modification by Individual Characteristics. *Sci Rep* 15(6), 21003.
- Malik AB, Johnson A, Tahamont MV, et al. (1983) Role of blood components in mediating lung vascular injury after pulmonary vascular thrombosis. *Chest* 83(5 Suppl), 21s–24s.
- Matzarakis A. (2001) Die thermische Komponente des Stadtklimas. Meteorologisches Inst. der Univ. Freiburg.
- Mayr M, Yusuf S, Weir G, et al. (2008) Combined metabolomics and proteomic analysis of human atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 51(5), 585–594.
- Memon RA, Leung DYC (2008) A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environmental Sciences*, 120–8.
- Merkenschlager C, Hertig E, Beck C (2019) New approaches to determine analogs: A case study within the framework of analyzing extreme heat events in the city of Augsburg. *Geophysical Research Abstracts* 2019 (EGU2019–6852).
- Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, et al. (2009) High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med* 179(5), 383–9.
- Muthers S, Laschewski G, Matzarakis A (2017) The summers 2003 and 2015 in South-West Germany: heat waves and heat-related mortality in the context of climate change. *Atmosphere* 8(11), 224.
- Nadif R, Goldberg S, Gourmelen J, et al. (2019) Seasonal variations of lipid profiles in a French cohort. *Atherosclerosis* 286, 181–3.
- Nayha S (2005) Environmental temperature and mortality. *Int J Circumpolar Health* 64(5), 451–8.
- Ockene IS, Chiriboga DE, Stanek EJ 3rd, et al. (2004) Seasonal variation in serum cholesterol levels: treatment implications and possible mechanisms. *Arch Intern Med* 264(8), 863–70.
- Oke TR (2006) Towards better scientific communication in urban climate. *Theor. Appl. Climatol.* 84, 179–190.
- Oke TR (1982) The energetic basis of the urban heat island. *QRMS* 108(455), 1–24.
- Patz JA, Campbell-Lendrum D, Holloway T, et al. (2005) Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438(7066), 310–17.
- Phung D, Thai PK, Guo Y, et al. (2016) Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 550, 1084–102.
- Ridker PM, Hennekens CH (1991) Hemostatic risk factors for coronary heart disease. *Circulation* 83(3), 1098–100.
- Rizza S, Copetti M, Rossi C, et al. (2014). Metabolomics signature improves the prediction of cardiovascular events in elderly subjects. *Atherosclerosis* 232(2), 260–4.
- Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, et al. (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes rendus biologies* 331(2), 171–78.
- Schäuble CL, Hampel R, Breitner S, et al. (2012) Short-term effects of air temperature on blood markers of coagulation and inflammation in potentially susceptible individuals. *Occup Environ Med* 69(9), 670–8.
- Schöpf S, Schöne G, Schmidt B, Günther K, Stübs G, Greiser KH, Bamberg F, Meinke-Franze C, Becher H, Berger K, Brenner H, Castell S, Damms-Machado A, Fischer B, Franke CW, Fricke J, Gastell S, Günther M, Hoffmann W, Hollecsek B, Jaeschke L, Jagodzinski A, Jöckel KH, Kaaks R, Kauczor HU, Kemmling Y, Kluttig A, Krist L, Kurth B, Kuß O, Legath N, Leitzmann M, Lieb W, Linseisen J, Löffler M, Michels KB, Mikolajczyk R, Pigeot I, Mueller U, Peters A, Rach S, Schikowski T, Schulze MB, Stallmann C, Stang A, Swart E, Waniek S, Wirkner K, Völzke H, Pischon T, Ahrens W (2020) Die Basiserhebung der NAKO Gesundheitsstudie: Teilnahme an den Untersuchungsmodulen, Qualitätssicherung und Nutzung von Sekundärdaten. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 63(3), 254–266. German. doi: 10.1007/s00103-020-03093-z. PMID: 32047976.
- Schneider A, Panagiotakos D, Picciotto S, et al. (2008a) Air temperature and inflammatory responses in myocardial infarction survivors. *Epidemiology* 19(3), 391–400.
- Schneider A, Schuh A, Maetzel FK, et al. (2008b) Weather-induced ischemia and arrhythmia in patients undergoing cardiac rehabilitation: another difference between men and women. *Int J Biometeorol* 52(6), 535–47.
- Schooneman MG, Vaz FM, Houten SM, et al. (2013) Acylcarnitines: reflecting or inflicting insulin resistance? *Diabetes* 62(1), 1–8.
- Shi L, Kloog I, Zanobetti A, et al. (2015) Impacts of Temperature and its Variability on Mortality in New England. *Nature Climate Change* 5, 988–91.
- Skutecki R, Cymes I, Dragańska E, et al. (2019) Are the Levels of Lipid Parameters Associated with Biometeorological Conditions? *Int J Environ Res Public Health* 21, 16(23).
- Sprung CL (1980) Heat stroke; modern approach to an ancient disease. *Chest* 77(4), 461–2.
- Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, et al. (2008) Factors affecting in-hospital heat-related mortality: a multi-city case-crossover analysis. *J Epidemiol Community Health* 62(3), 209–15.
- Stewart S, Keates AK, Redfern A, et al. (2017) Seasonal variations in cardiovascular disease. *Nat Rev Cardiol* 14(11), 654–64.
- Takahashi K, Honda Y, Emori S (2007) Assessing mortality risk from heat stress due to global warming. *J Risk Res* 10(3), 339–54.
- Viegi G, Pistelli F, Sherrill DL, et al. (2007) Definition, epidemiology and natural history of COPD. *Eur Respir J* 30(5), 993–1013.

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

- Watts N, Amann M, Arnell N, et al. (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* 394(10211), 1836–878.
- Wilker EH, Yeh G, Wellenius GA, et al. (2012) Ambient temperature and biomarkers of heart failure: a repeated measures analysis. *Environ Health Perspect* 120(8), 1083–7.
- Wu S, Yang D, Pan L, et al. (2017) Ambient temperature and cardiovascular biomarkers in a repeated-measure study in healthy adults: A novel biomarker index approach. *Environ Res* 156, 231–8.

- Zacharias S, Koppe C, Mücke HG (2015) Climate change effects on heat waves and future heat wave-associated IHD mortality in Germany. *Climate* 3(1), 100–17.
- Zanobetti A, Peters A (2015) Disentangling interactions between atmospheric pollution and weather. *J Epidemiol Community Health* 69(7), 613–5.
- Zhou X, Lin H, Zhang S, et al. (2016) Effects of climatic factors on plasma lipid levels: A 5-year longitudinal study in a large Chinese population. *J Clin Lipidol* 10(5), 1119–28.



Prof. Dr. Elke Hertig

Nach Beendigung ihres Studiums der Geografie und der Promotion im Fach Klimatologie an der Universität Würzburg arbeitete und habilitierte sie am Geographischen Institut der Universität Augsburg. Seit 2019 ist sie DFG Heisenberg-Professorin für Regionalen Klimawandel und Gesundheit an der Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg.



Dr. Alexandra Schneider

Nach einem Studium der Meteorologie und einem Postgraduiertenstudium zum Master of Public Health arbeitete sie zunächst an der Ludwig-Maximilians-Universität München, um dort anschließend im Fach Humanbiologie zu promovieren. Seit 2010 leitet sie ihre eigene Arbeitsgruppe „Environmental Risks“ am Institut für Epidemiologie des Helmholtz Zentrums München.

4 Der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Handlungsansätze und die besondere Herausforderung durch Arzneimittelwechselwirkungen

Bernhard Kuch

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit. DOI 10.32745/9783954666270-4, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Für die Bevölkerung am augenscheinlichsten und unmittelbar auch am Körper spürbar ist die mit dem Klimawandel einhergehende Zunahme der Hitzeperioden. Diese haben unmittelbare negative Auswirkungen auf die Herzinfarkt-morbidität und -mortalität, aber auch auf Schlaganfall-häufigkeit und andere Akutmanifestationen von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Besonders gefährdet sind Patienten in höherem Lebensalter und mit vorbestehenden Komorbiditäten. Zum Schutz der Bevölkerung vor hitzebedingten Gesundheitsschäden müssen verschiedene präventive Maßnahmen koordiniert umgesetzt werden. Dazu zählt (ganz allgemein) eine verbesserte Edukation über die Auswirkungen von Hitzeperioden auf die Gesundheit in der Ausbildung der Gesundheitsfachberufe. Maßgeblich für die Behandlung von Risikopatienten ist zudem die Vermittlung und Kenntnis von hitzebedingten Arzneimittelwechselwirkungen. Als eine zielgerichtete Maßnahme hierfür wird die Entwicklung und Implementierung eines Smartphone-basierten Ampelsystems vorgeschlagen, welches Patienten und die behandelnden Ärzte über gesundheitsgefährdende Wetterlagen und die Einnahme von kritischen Medikamenten informiert.

In people the most obvious and directly noticeable impact on their body associated with climate change are the increase in heat periods. These also have immediate negative effects on heart attack morbidity and mortality, but also on stroke frequency and other acute manifestations of cardiovascular diseases. Patients with higher age and with pre-existing co-morbidities, especially patients with diabetes and heart failure, are particularly at risk. Preventive measures to protect against heat-related health damage can be undertaken through coordinated activities to prevent population impacts, improved education on the effects of heat periods on health in training and mediation in health professional. It warrants in addition targeted measures, such as the implementation of a smartphone-based traffic light system with, in the event of heat periods, timely warning all at-risk patients or their relatives or doctors and transmitting generally appropriate heat protection measures and flashing of checklists that query the treatment with critical medications.

Fallbeispiel

Der Notarzt wird an einem Juliabend zu einer 77-jährigen Frau gerufen, da diese für ca. 3 Minuten bewusstlos zusammengesackt war. Die Tage zuvor habe sie viel im Garten gegessen und bei der gegenwärtigen Hitzeperiode (über drei Tage Spitzentemperaturen über 30 Grad Celsius) viel geschwitzt, sie habe wohl auch zu wenig getrunken. Bei Eintreffen des Notarztes und auch in der Klinik war die Patientin bewusstseinsklar und in stabilem Herz- und Kreislaufzustand. Das Labor zeigte bis auf eine mäßiggradige Kreatininerhöhung (1,8 mg/dl) keine relevanten Auffälligkeiten. Der Röntgen-Thorax-Befund zeigte eine Linksherzvergrößerung ohne aktuelle Stauungszeichen, echokardiografisch zeigte sich eine linksventrikuläre Hypertrophie und eine mittelgradig eingeschränkte Pumpfunktion (EF ca. 40%). Die weitere Vorgeschichte erbrachte einen langjährigen arteriellen Hypertonus, die Medikation bestand aus: Sotalol (Sotalol, einem Betablocker und Klasse-III-Antiarrhythmikum) 2 x 160 mg, Isoket ret. (ein Nitrat) 2 x 20 mg, ASS 100 mg und HCT (Hydrochlorothiazid, ein Diuretikum) 25 mg. Die Patientin wurde zunächst auf der Nachtstation überwacht. Um 2.00 Uhr morgens trat eine erneute Synkope auf und die Patientin musste aufgrund eines Kreislaufstillstandes reanimiert werden. Im EKG zeigte sich eine Torsade de pointes-Tachykardie (Spitzenumkehrtachykardie) mit Übergang in Kammerflimmern. Nach einmaliger Defibrillation konnte ein Sinusrhythmus und wieder ein stabiler Kreislaufzustand erreicht werden, zur weiteren Überwachung wurde die Patientin auf die Intensivstation verbracht, nach Infusion einer Magnesiumsulfatlösung traten keine weiteren Rhythmusstörungen mehr auf. Das Aufnahme-EKG, welches initial als reines „Hypertrophie-EKG“ gewertet wurde, zeigte eine signifikante QT-Zeitverlängerung. Die abschließende Diagnose lautete daher: Rezidivierende Synkopen mit letztlich Reanimation bei Kammerflimmern bei Torsade de Pointes-Tachykardien bei pathologischer QT-Zeitverlängerung unter Therapie mit Sotalol bei relativer Überdosierung im Rahmen einer exsikkosebedingten Nierenfunktionsstörung. Letztere war ausgelöst durch vermehrtes Schwitzen und unzureichende Flüssigkeitszufuhr im Rahmen der Hitzeperiode. Sotalol wurde abgesetzt und durch Bisoprolol (einen reinen Betablocker) ersetzt und die Patientin instruiert, bei ent-

sprechenden Umgebungsbedingungen auf ausreichende Flüssigkeitszufuhr zu achten und Schutz in abgekühlten Räumen zu suchen. Im Arztbrief an die weiterbehandelnden Ärzte wurde auf die Gefährlichkeit von Klasse-III-Antiarrhythmika, die, wie Sotalol, vornehmlich über die Niere ausgeschieden werden, hingewiesen. Zudem wurde gebeten, bei Anwendung von Diuretika in Hitzeperioden die Patientin engmaschiger klinisch und laborchemisch zu kontrollieren.

4.1 Einleitung

Für die Bevölkerung am augenscheinlichsten und unmittelbar auch am Körper spürbar ist die mit dem Klimawandel einhergehende Zunahme der Hitzeperioden. So berichtet der im November 2019 in Berlin vorgestellte Jahresbericht der internationalen Forschungsinitiative „Lancet Countdown“ über bis zu fünf zusätzliche Hitzewellen in Norddeutschland und bis zu 30 zusätzliche Hitzewellen in Süddeutschland jeden Sommer (Jacob et al. 2014). Die internationale Forschungsinitiative „Lancet Countdown“ entstand über die Zeitschrift „The Lancet“ und war als globales Monitoring-System gedacht. Seit der Veröffentlichung des ersten Berichts im Jahr 2015 wird jährlich über den Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Gesundheit berichtet (Watts et al. 2015). Zudem wird ein Anstieg der Durchschnittstemperatur um 3,7° C für die kommenden Jahrzehnte prognostiziert (Deutscher Wetterdienst 2020).

Kapitel 1 und 2 in diesem Buch befassen sich umfassend mit den Folgen des Klimawandels auf die Umwelt- und Lebensbedingungen. Im Kapitel 3 wurde der Einfluss der mit dem Klimawandel einhergehenden Temperaturveränderungen auf die Mortalität beschrieben. Wir erläutern im Folgenden zunächst die bekannten wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Einfluss der Temperaturänderungen auf die Herz-Kreislauf-Morbidität anhand von Studien aus der Region Augsburg. Vertiefend wird dann auf die Herausforderungen durch hitzebedingte Arzneimittelwechselwirkungen eingegangen.

4.2 Einfluss von Hitzewellen auf die Herzinfarkthäufigkeit und das Auftreten anderer Kreislauferkrankungen – Evidenz aus Augsburg

Das Augsburger Herzinfarktregister sammelt seit 1985 als Beteiligung am WHO MONICA-Projekt sämtliche Herzinfarktfälle bzw. im prähospitalen Setting Verdachtsfälle auf Herzinfarkt. Es werden damit alle potenziellen Herzinfarktfälle der 25- bis 84-jährigen (bis 2008 74-jährigen) Einwohner der Stadt Augsburg und der angrenzenden Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg erfasst. Es wird dabei die Herzinfarktmorbidität mit allen tödlichen und nicht-tödlichen Herzinfarkten, inklusive der plötzlichen Herztodesfälle je 100.000 Einwohner ermittelt, zusätzlich die Mortalität und 28-Tage-Letalität. Es wird hierbei besonders unterschieden zwischen der Letalität in der Phase vor Erreichen einer Klinik (prähospitale Phase) und der Letalität im weiteren hospitalen Verlauf. Diese Form der Datenerhebung, insbesondere auch unter Einbeziehung aller prähospitalen Todesfälle, mit der Möglichkeit, dies auch mit Klimadaten zu verbinden, ist in Deutschland einmalig.

So konnten Chen et al. anhand von Daten des Augsburger Herzinfarktregisters zeigen, dass starke Temperature Ausschläge das Risiko für einen **Herzinfarkt** erhöhen können (2019a): Einbezogen in die Analyse wurden über 27.000 Herzinfarktfälle zwischen 1987 und 2014. Das Durchschnittsalter der Betroffenen betrug rund 63 Jahre, 73% davon waren Männer und rund 13.000 Fälle endeten tödlich. Hierzu wurden im Rahmen des Augsburger Herzinfarktregisters alle in der Region aufgetretenen tödlichen und nicht-tödlichen Herzinfarkte erfasst. Die einzelnen Infarkte wurden gemeinsam mit den meteorologischen Daten des jeweiligen Tages und der vorangegangenen Tage verknüpft, und mögliche andere Faktoren wie beispielsweise Wochentage, klassische Risikofaktoren oder sozioökonomischer Status herausgerechnet. Es wurden die Ergebnisse aus

dem Zeitraum 1987 bis 2000 mit denen zwischen 2001 und 2014 verglichen und gezeigt, dass das Herzinfarkttrisiko mit zunehmender täglicher Durchschnittstemperatur stärker ansteigt als im vorangegangenen Untersuchungszeitraum. Dieses Ergebnis war Ausgangspunkt für eine weitere Analyse der Autoren. Chen et al. prognostizierten unter Verwendung von täglichen Herzinfarkt-Zeitreihen und Temperaturprojektionen basierend auf zwei Klimaszenarien jeweils die Zahl der temperaturbedingten Herzinfarkte bei unterschiedlichen Erwärmungsausprägungen (Chen et al. 2019b). Es wurde gezeigt, dass in einem emissionsarmen Szenario, das die Erwärmung im 21. Jahrhundert auf unter 2°C begrenzt, die Zahl der temperaturbedingten Herzinfarkte bei einer globalen Erwärmung um 1,5°C mit -6 Fällen (95%-Konfidenzintervall: [-60; 50]) pro Jahrzehnt (Nettoveränderung durch Berücksichtigung von kälte- und wärmebedingten Belastungen) leicht abnehmen wird. In einem Szenario mit hohen Emissionen, welches die Ziele des Übereinkommens von Paris überschreitet, steigt pro Jahrzehnt die Zahl der temperaturbedingten Herzinfarkte bei Erwärmung um 2°C um 18 [-64; 117] beziehungsweise bei Erwärmung um 3°C um 63 [-83; 257] Fälle an. Zwar sind die Schätzungen zur Nettoveränderung künftiger temperaturbedingter Herzinfarktereignisse nicht signifikant, die Schätzungen bezüglich hitzebedingter Herzinfarkte sind jedoch statistisch signifikant und zeigen einen Anstieg von 54 (95%-Konfidenzintervall: [1; 124]) beziehungsweise 109 [4; 313] Fällen pro Jahrzehnt bei einer globalen Erwärmung um 2°C/3°C. Die nichtsignifikanten Schätzer der Nettoveränderung sind vorwiegend auf die Unsicherheit bei den Schätzungen der kältebedingten Belastung zurückzuführen. Dies legt nahe, dass bei einer Erwärmung um 1,5°C geringere Risiken für hitzebedingte Morbidität und Mortalität prognostiziert werden als bei einer Erwärmung um 2°C (Chen et al. 2019b). Das Fazit der Autoren lautet, dass die künftige Belastung durch temperaturbedingte Herzinfarkt-Fälle in Augsburg bei einer

globalen Erwärmung um 2°C beziehungsweise 3°C höher liegen wird als bei einer Erwärmung um 1,5°C. Schlussfolgerung aus der Studie war, dass die Erfüllung des Übereinkommens von Paris mit Eindämmung der globalen Erwärmung auf 1,5°C essenziell sei, um durch den Klimawandel verursachte zusätzliche Herzinfarkte zu vermeiden.

Extreme Temperaturen, insbesondere Hitze, sind aber nicht nur mit einer erhöhten Herzinfarktinzidenz verbunden, sondern auch mit einer erhöhten Rate an Todesfällen durch **Herzinsuffizienz** und **Schlaganfälle**. Dies wurde beispielsweise durch Breitner et al. für das südliche Bayern anhand einer Zeitreihenanalyse der ursachenspezifischen Mortalität zwischen 1990 und 2006 aufgezeigt (2014).

In einer Studie der Uniklinik Augsburg wurde über 10 Jahre hinweg der Zusammenhang zwischen bestimmten Wetterlagen und Schlaganfällen untersucht. Anhand von knapp 18.000 Schlaganfall-Fällen aus der Region Augsburg – die meisten von ihnen Neuerkrankte, aber auch Patienten mit wiederholten Schlaganfällen – konnte gezeigt werden, dass sich Wetterveränderungen auf die beiden Schlaganfall-Subtypen ischämischer Schlaganfall (Hirninfrakt) und hämorrhagischer Schlaganfall (Hirnblutung) unterschiedlich auswirken (Ertl et al. 2019). So bringen trockene, warme Luftmassen ein erhöhtes Risiko für den ischämischen Hirninfrakt mit sich, der über 80% aller Schlaganfälle ausmacht. Allerdings führen sie zu einem geringeren Risiko für Hirnblutungen. Umgekehrt ist es bei trockenen, kühlen Luftmassen: Sie befördern Hirnblutungen, ziehen aber ein selteneres Auftreten von ischämischen Hirninfrakten nach sich. Auch bei feuchten Luftmassen konnte ein verringertes Auftreten von Hirninfrakten nachgewiesen werden.

Betrachtet man die Temperaturentwicklung im Zeitraum weniger Tage vor dem Schlaganfallereignis, so findet man auch hier differenzierte Einflüsse auf die Schlaganfalls- oder Blutungshäufigkeit, die pathophysiologisch allerdings noch nicht vollends geklärt sind.

4.3 Gefährdete Bevölkerungsgruppen

Zu den besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppen während Hitzeperioden gehören neben denjenigen mit erhöhtem **Lebensalter** insbesondere diejenigen mit **Komorbiditäten**. Wetterbedingte Zusammenhänge mit erhöhten Notfalleinweisungen ins Krankenhaus, sowohl durch Kälte, als auch durch Hitze bedingt, sind z.B. bei Patienten mit **Diabetes** beschrieben, wohingegen erhöhte Notfalleinweisungen in Zusammenhang mit **Bluthochdruck** (in der Regel Hochdruckkrisen) dagegen eher mit Kälteeinbrüchen als mit Hitzewellen assoziiert sind (Bai et al. 2016).

Bei Diabetikern sind insbesondere Akutmanifestationen von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ausschlaggebend. So waren in einer Studie aus Toronto Hitzeperioden bei Diabetikern mit erhöhtem Risiko einer Hospitalisierung wegen kardiovaskulärer Ursache verbunden. Die eingeschränkte thermoregulatorische Reaktionsfähigkeit bedingt durch die autonome Dysfunktion und die besondere Empfindlichkeit auf hitzeinduzierte vermehrte endotheliale Dysfunktion und Hyperkoagulabilität scheinen hier besonders mitverursachend zu sein (Lavigne et al. 2014).

Zudem sind Patienten mit vorbestehendem Herzinfarkt oder bekannter **kardiovaskulärer Grunderkrankung** besonders vulnerabel für schädliche Kurzzeiteffekte von Temperaturanstiegen (Rocklov et al. 2014).

Interessanterweise sind offenbar bestehende Adaptationsmechanismen an Temperatur und Temperaturschwankungen für unterschiedliche Suszeptibilitäten verantwortlich, sodass nördlichere Länder anfälliger für Hitzewellen sind als südlicher gelegene (Liu et al. 2015).

Der bisherige Fokus des Artikels lag auf den direkten temperaturbedingten Folgen auf den menschlichen Körper. Zu berücksichtigen ist, dass nicht nur der Hitzestress, sondern auch andere durch den Klimawandel bedingte Folgen wie hohe bodennahe Ozonkonzentrationen

oder erhöhte Feinstaubkonzentrationen während der Hitzeperioden für die erhöhte herzkreislaufbedingte Morbidität und Mortalität verantwortlich sind. So begünstigt Feinstaub in erster Linie Gefäßschäden und damit Krankheiten wie Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzrhythmusstörungen und Herzschwäche (Münzel et al. 2017). Auf die Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen wird in Kapitel 8 dieses Buches näher eingegangen.

4.4 Maßnahmen zur Abmilderung der klimabedingten Auswirkungen auf die Herz-Kreislauf-Morbidität und -Mortalität

4.4.1 Allgemeine Maßnahmen

Bundes-/landespolitisch: Hierzu heißt es in den 2017 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit herausgegebenen Handlungsempfehlungen: „Abhilfe kann hier – neben den weltweiten Bemühungen zur Bekämpfung des Klimawandels – nur durch koordinierte Aktivitäten zur Prävention von Hitzeauswirkungen auf die Bevölkerung geschaffen werden. Hierzu eignen sich Hitzeaktionspläne auf der Grundlage der Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), die den Handlungsbedarf formulieren und Vorgaben machen, auf welcher Ebene und von welcher Stelle welche Maßnahmen umgesetzt werden sollen. Konkrete Pläne sollten auf die jeweilige Region abgestimmt sein.“ (BMU 2017). Kritisiert wird allerdings, dass diese aber bisher auf regionaler und lokaler Ebene nicht systematisch umgesetzt wurden.

Verbandspolitisch: Beispielsweise fordert die Bundesärztekammer (BÄK) Länder und Kommunen auf, konkrete Maßnahmenpläne für Kliniken, Not- und Rettungsdienste sowie Pflegeeinrichtungen zur Vorbereitung auf Hitzeereignisse zu entwickeln.

Fachkräfte im Gesundheitswesen haben eine wichtige Funktion bei der Durchsetzung rascherer

Fortschritte bei der Bekämpfung der gesundheitlichen Folgen des Klimawandels, da sie darin ausgebildet sind, Patienten über Gesundheitsgefahren aufzuklären. Sie können die Gesundheitsrisiken, die durch den Klimawandel entstehen, besser kommunizieren und dementsprechend möglicherweise auch die Politik überzeugen, dass Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen (Watts et al. 2015).

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt ist die vermehrte und strukturierte Vermittlung der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Gesundheit in der **Ausbildung von Angehörigen der Heilberufe** (Ärzte, Pflegekräfte und andere Angehörige von Gesundheitsberufen) durch Inkorporierung in die Ausbildungskurricula/Lehrpläne und im Rahmen von Fortbildungsveranstaltungen.

4.4.2 Konkrete präventivmedizinische Handlungsempfehlungen und Strategien

Die Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit (KLUG) hat unter dem Eindruck der aktuellen Corona-Pandemie in Zusammenarbeit mit Experten vom Helmholtz Zentrum München und dem Universitätsklinikum Heidelberg in einer ad hoc Arbeitsgruppe vier Informationsblätter herausgegeben, die praxisnahe Handlungsempfehlungen an Gesundheitsdienstleister, aber auch potenziell Betroffene erarbeiteten (abrufbar unter www.hitze2020.de).

Generell sollten Angehörige des Gesundheitswesens auf Risiken aufmerksam machen und auch jene Maßnahmen stärken, die sowohl klimafreundlich sind als auch die Gesundheit der Risikogruppen fördern (Co-Benefits). Wichtig ist die Identifikation und Beratung nicht nur von morbiditätsbedingten Risikopatienten, sondern auch von Risikopatienten, die in ihrer Wärmeregulation und/oder Verhaltensanpassung eingeschränkt sind, z.B. mit ungünstigen Wohnverhältnissen (städtische

Wärmeinsel, Dachwohnung etc.). Da Arzneimittel durch hohe Temperaturen ihre Wirksamkeit verlieren können, sind zudem auch Hinweise auf die empfohlene Lagerungstemperatur (maximal 25°C) bedeutsam.

4.5 Herausforderungen für die haus-/fachärztliche Versorgung durch Arzneimittelwechselwirkungen

Die Vermittlung von Wissen über gefährliche Arzneimittelnebenwirkungen ist – neben dem Aussprechen von und Sensibilisieren für Hitzeschutzmaßnahmen – eine der wichtigsten unmittelbaren Maßnahmen zur Abwendung von hitzebedingten Gesundheitsschäden. Entsprechende Maßnahmen richten sich an alle Angehörige von Gesundheitsfachberufen, insbesondere an Ärzte, aber auch an Pflegekräfte und Risikopatienten selbst (s. Kap. 4.3). Gerade Patienten mit bereits durchgemachten Ereignissen, wie z.B. Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzschwächeepisoden oder diejenigen mit Risikofaktoren hierfür (Diabetes, Bluthochdruck, Adipositas, Hypercholesterinämie, Raucher), leiden auch oft an anderen Erkrankungen (Polymorbidität) bzw. nehmen gegen ihre Risikofaktoren/Herz-Kreislauf-Erkrankungen zahlreiche Medikamente ein.

Einige dieser Medikamente haben ein **umfassendes Interaktionspotenzial**, welches durch die Einwirkungen von Hitze massiv gesteigert werden kann. Deshalb ist es besonders wichtig, diese Patienten zu identifizieren und hinsichtlich ihrer Medikamenteneinnahme streng zu überwachen. Hier kommt insbesondere den Hausärzten, aber auch allen Fachärzten, die indikationsspezifische Medikamente verschreiben, hohe Verantwortung zu. Aber auch Angehörige anderer Gesundheitsberufe (z.B. in Pflegeeinrichtungen) sind aufgefordert, bei Hitzeperioden die sonst übliche „Medikamentenration“ kritisch zu hinterfragen und ggf. einen Mediziner hinzuzuziehen.

Tabelle 1 gibt für einzelne Wirkstoffklassen Beispiele für mögliche Nebenwirkungen.

Es gibt zweierlei mögliche **Wechselwirkungen**:

- Zum einen können Medikamente, wenn relativ überdosisiert (z.B. bei vorwiegend über die Niere ausgeschiedenen Medikamenten bei exsikkosebedingter Nierenschwäche) oder durch Hitze in ihrer Wirkung verstärkt Herz-Kreislauf-Notfälle induzieren, z.B. durch das Auslösen von Hochdruckkrisen.
- Zum anderen bewirken die durch Hitze einwirkung reduzierten Adaptationsmechanismen des Körpers ein vermehrtes Nebenwirkungspotenzial.

Mit an vorderster Stelle sind hier alle Arzneimittel mit **anticholinergem Wirkung** zu nennen. Diese sind besonders gefährlich, da sie die zentrale Temperaturregulierung hemmen, was in Hitzephasen den wichtigen Ausgleichsmechanismus des Schwitzens unterbindet. Diese anticholinerge Wirkung ist in vielen Arzneimitteln enthalten, die wiederum für ein breites Indikationsspektrum eingesetzt werden, an die man a priori nicht so schnell denkt!

Herz-Kreislauf-Mittel per se bergen – in der Regel weniger aufgrund anticholinergem Eigenschaften – ein hohes Risiko einer unerwünschten Nebenwirkung, gerade bei hitzebedingten körperlichen Adaptationsmechanismen. So kann die hitzebedingte Vasodilatation den blutdrucksenkenden Effekt vieler Herz-Kreislauf-Mittel deutlich verstärken mit der Folge von Synkopen (Bewusstseinsverlust) mit möglicherweise schwerer Verletzungsfolge oder kritischen Organischämien bis hin zum Herzinfarkt. Besonders gefährdet sind hier alle Patienten mit systolisch bedingter Herzinsuffizienz, da diese Wirkstoffe bekommen, die auch Hochdruckpatienten erhalten (Antihypertensiva). **Antihypertensiva** – auch als Herzinsuffizienzmedikamente eingesetzt – bergen allerdings per se schon die Gefahr einer zu starken Blutdrucksenkung. Besonders gefährlich sind in diesem Zusammenhang **Diuretika**. Sie werden einerseits

4 Der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Handlungsansätze und die besondere Herausforderung durch Arzneimittelwechselwirkungen

Tab. 1 Medikamenteninteraktion und Nebenwirkungspotenzial in Hitzeperioden bei ausgewählten Wirkstoffen bzw. Indikationsklassen

Wirkstoff/Indikationsklasse	Beispiele	Art der durch Hitze aggravierten Nebenwirkung
anticholinerge Arzneimittel (dazu zählen viele Psychopharmaka, Antidepressiva, aber auch Bronchoinhalativa u.a.)	viele Benzodiazepine (Schlafmittel), Atosil (Antipsychotikum), trizyklische Antidepressiva, Ipra/Tiotropiumbromid (COPD), Trosipiumchlorid, (gegen Dranginkontinenz), Biperiden, Oxybutinin (Antiparkinsonmittel), Butylscopolamin (Magen-Darm-Krämpfe), Scopolamin (gegen Übelkeit z.B. bei Reisekrankheit), Dimenhydrinat (gegen Übelkeit, zur Beruhigung), Antihistaminika (gegen Allergien)	Hemmung der zentralen Temperaturregulierung → Schwitzen verringert, Kognitionseinschränkung; Blutdruckabfälle und andererseits Blutdruckkrisen
Antihypertensiva (AHT) (Bluthochdruckmittel)	Betablocker, ACE-Hemmer, Sartane, Kalziumantagonisten, Clonidin, Monoxidin (letztere zentral wirksam)	einerseits Verhinderung der Erweiterung der Blutgefäße (Betablocker) in der Haut → Hitzeableitung durch Konvektion verringert, Erhöhung der Schweißsekretionsschwelle (zentrale AHT) andererseits Verstärkung der blutdrucksenkenden Wirkung durch Vasodilatation → Blutdruckabfälle
Diuretika (als Hochdruckmittel oder bei Herzinsuffizienz)	Hydrochlorothiazid (HCT), in vielen Kombinationspräparaten enthalten!, Chlortalidon, Indipamid, Torasemid, Furosemid, Spironolacton	Verstärkung der Blutdrucksenkung, Austrocknung, Nierenversagen, gefährliche Elektrolytentgleisung
Antianginosa (bei koronarer Herzerkrankung)	Nitrate wie ISMN, ISDN, Molsidomin	besondere gefäßerweiternde Wirkung → gefährliche Blutdruckabfälle
Antiepileptika	Carbamazepin, Valproinsäure, Lamotrigin, Benzodiazepine, Barbiturate	Beeinträchtigung der kognitiven Wachsamkeit, Verstärkung von Elektrolytentgleisungen (Hyponatriämie)
Schmerzmittel	NSAR (Ibuprofen, Diclofenac, Coxibe), Opiate (Fentanylpflaster), orale Medikamente wie Morphin, Hydromorphon, Codein, Dihydrocodein, Pethidin, Tilidin, Tramadol	Gefahr des Nierenversagens, Auslösung von Hochdruckentgleisungen, Verschlechterung von Herzinsuffizienz bei Exsiccose, bei Opiaten Gefahr der Akkumulation bzw. verstärkten Wirkstofffreisetzung bei transdermalen Systemen → kognitive Beeinträchtigung, Atemdepression, anticholinerge Nebenwirkungen
Insuline	Basalinsuline, schnell wirksame Insuline etc.	unter Hitzebedingungen ggf. rascheres Anfluten mit Hypoglykämiegefahr

zur Blutdrucksenkung, gern auch in Kombination mit andern Antihypertensiva eingesetzt, insbesondere aber zur Entwässerung bei Herzinsuffizienten. Deshalb sind sie in Tabelle 1 se-

parat aufgeführt. Denn neben einer überschießenden Blutdrucksenkung kann es bei Hitze durch vermehrt auftretende Exsiccose (Austrocknung) zu Nierenversagen mit möglicher

Wirkstoffakkumulation bei polypharmazeutisch behandelten Patienten kommen. Darüber hinaus besteht hier die Gefahr sogenannter Elektrolytentgleisung (Hyper- wie Hypokaliämie, Hypo-, Hyponatriämie) mit sehr schwerwiegenden Folgen (Induktion bösartiger Herzrhythmusstörungen, dadurch ausgelöster plötzlicher Herztod, komatöse Zustände). Gerade Patienten mit Herzinsuffizienz sind wegen ihrer Grunderkrankung und der bestehenden Polypharmazie bei vermehrter Hitzeexposition und den noch hinzukommenden toxischen Effekten von Feinstaub und Ozon besonders gefährdet. So kann es z.B. auch zu einer unerwünschten Wirkung von **Antiarrhythmika** kommen, die diese Patienten oft einnehmen, sodass sie einer besonderen Überwachung bedürfen (vermehrte EKG-Kontrollen zur Bestimmung der sog. QT-Zeit, Blutabnahmen zur Beurteilung der Nierenfunktion und des Elektrolythaushaltes) (s. Fallbeispiel). **Antianginosa** (z.B. Nitrate, Molsidomin, Ranolazin) erhalten viele Patienten mit Angina pectoris (Brustenge) bei koronarer Herzkrankheit. Diese können durch ihre vasodilatierenden Eigenschaften negative Folgen entwickeln. Diese Medikamente sollten bei gefährdeten Patienten in einer Hitzeperiode vorrangig abgesetzt werden, da diese Wirkstoffe auch keinerlei prognostische Wirkung hinsichtlich harter Endpunkte haben.

Eine zunehmende Anzahl von Patienten nimmt zeitlich beschränkt oder **chronisch Schmerzmittel** ein. Auch diese bergen zum Teil erhebliche Gefährdungen unter entsprechenden Temperaturbedingungen, insbesondere ist hier von transdermal verabreichten Opiaten zu warnen.

Diabetiker gehören per se zur Risikogruppe. Besondere Vorsicht ist geboten bei **insulinabhängigen Patienten**, da sich gerade bei starkem Schwitzen und Änderungen des Hautturgors die Resorption des Insulins stark ändern kann.

In Tabelle 1 nicht separat aufgeführt, da auch nicht einheitlich abzubilden, sind **pflanzliche Wirkstoffe/naturheilkundliche Präpa-**

rate. Diese werden häufig „vergessen“ und vom Patienten nicht an den Arzt berichtet. Auch wenn über diesbezügliche Wechselwirkungen wenig bekannt ist, sollten auch diese Präparate immer mitbedacht werden. Gerade alkaloidhaltige pflanzliche Substanzen oder Johanniskraut haben bekanntlich medikamentöses Interaktionspotenzial.

4.6 Mögliche Strategien und Handlungsempfehlungen über die Umsetzung von Hitzeaktionsplänen hinaus

Welche weiteren Strategien neben den bereits oben skizzierten Maßnahmen wie allgemeine Handlungsempfehlungen zur Umsetzung von Hitzeaktionsplänen und deren Anwendung sind denkbar? So wäre die Entwicklung und Implementierung eines Smartphone-basierten Ampelsystems in Form einer App empfehlenswert. Vorstellbar wäre, dass sich möglichst viele der Risikopatienten bzw. deren Angehörige sowie die behandelnden Ärzte (und Pflegeeinrichtungen) registrieren bzw. eine zu programmierende App (analog der derzeit entwickelten Corona-Warn-App) nutzen. Ähnlich wie die Warnungen des Deutschen Wetterdienstes können in der App Vorhersagen zu gesundheitsgefährdenden Witterungsbedingungen, wie z.B. hohe Temperaturen, Luftfeuchtigkeit oder fehlende Nachtabkühlung, angezeigt werden. Darüber hinaus sollte die App den Anwender über zu treffende Hitzeschutzmaßnahmen informieren. Mittels der vorgeschlagenen App können zudem auch Checklisten bereitgestellt werden, die die Behandlung mit bzw. Einnahme von kritischen Medikamenten abfragen. Dabei sollte auch eine direkte Eingabe der eingenommenen Medikamente/Wirkstoffe möglich sein. Die Anwendung soll anzeigen, ob eine kritische Wirkstoffgruppe darunter ist, mit dem Hinweis, unbedingt den behandelnden Arzt zu konsultieren, ob und in welcher Dosierung die Medikamente weiter eingenommen werden sollen.

4.7 Fazit

Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Hitzewellen und der Häufigkeit von Herzinfarkten oder anderer Kreislaufkrankungen wie Schlaganfall oder vermehrter Einweisung wegen Herzinsuffizienz oder Hochdruckentgleisungen ist hinreichend belegt. Präventive Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor hitzebedingten Gesundheitsschäden können durch koordinierte Aktivitäten, wie z.B. verbesserte Edukation über die Auswirkungen von Hitzeperioden auf die Gesundheit in der Ausbildung und Vermittlung in Gesundheitsfachberufen, getroffen werden. Besonders gefährdet sind Risikogruppen, einerseits aufgrund ihrer Grunderkrankung und andererseits insbesondere durch während Hitzeperioden auftretender verstärkter Arzneimittelnebenwirkungen, da gerade diese Patienten häufig mit mehreren Medikamenten behandelt werden. Hierbei könnten gezielte Maßnahmen greifen: Die Implementierung eines Smartphone-basierten Ampelsystems mit rechtzeitiger Warnung aller Risikopatienten bzw. deren Angehöriger bzw. Ärzte und Übermittlung allgemein zu treffender Hitzeschutzmaßnahmen sowie Abfrage kritischer Medikamente.

Literatur

- Bai L, Li Q, Wang J, Lavigne E, Gasparrini A, Copes R (2016) Hospitalizations from Hypertensive Diseases, Diabetes, and Arrhythmia in Relation to Low and High Temperatures: Population-Based Study *Sci Rep* 6:30283
- Breitner S, Wolf K, Peters A, Schneider A (2014) Short-term effects of air temperature on cause-specific cardiovascular mortality in Bavaria, Germany *Heart* 100(16):1272–80
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Bonn. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/hap_handlungsempfehlungen_bf.pdf (abgerufen am 09.02.2021)
- Chen K, Breitner S, Wolf K, Hampel R, Meisinger C, Heier M, von Scheidt W, Kuch B, Peters A, Schneider A; KORA Study Group (2019a) Temporal variations in the triggering of myocardial infarction by air temperature in Augsburg, Germany, 1987–2014. *Eur Heart J* 40:1600–8
- Chen K, Breitner S, Wolf K, Rai M, Meisinger C, Heier M, Kuch B, Peters A, Schneider A, on behalf of the KORA Study Group (2019b) Projection of temperature-related myocardial infarction in Augsburg, Germany: moving on from the Paris Agreement on Climate Change. *Dtsch Arztebl Int* 116:521–7
- Deutscher Wetterdienst (2020) Nationaler Klimareport: Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. URL: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimateport/report.html> (abgerufen am 09.02.2021)
- Ertl M, Beck C, Kühnbach B, Hartmann J, Hammel G, Straub A, Giemsa E, Seubert S, Philipp A, Traidl-Hoffmann C, Soentgen J, Jacobeit J, Naumann M (2019) New Insights into Weather and Stroke: Influences of Specific Air Masses and Temperature Changes on Stroke Incidence. *Cerebrovasc Dis* 47(5–6):275–284. doi: 10.1159/000501843
- Jacob D, Petersen J, Eggert B et al. (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Env Chang* 14:563–78
- Lavigne E, Gasparrini A, Wang X, Chen H, Yagouti A, Fleury MD, Cakmak S (2014) Extreme ambient temperatures and cardiorespiratory emergency room visits: assessing risk by comorbid health conditions in a time series study. *Environ Health* 13(1):E48–58
- Liu C, Yavar Z, Sun Q (2015) Cardiovascular response to thermoregulatory challenge. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 309(11):H1793–812
- Münzel T, Sørensen M, Gori T, Schmidt FP, Rao X, Brook FR, Chen LC, Brook RD, Rajagopalan S (2017) Environmental stressors and cardio-metabolic disease: part II – mechanistic insights. *Eur Heart J* 38:557–564
- Rocklov J, Forsberg B, Ebi K, Bellander T (2014) Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden. *Glob Health Action* 7:22737
- Watts N, Adger WN, Agnolucci P et al. (2015) Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet* 386:1861–914



Prof. Dr. med. Bernhard Kuch

Medizinstudium in Regensburg und München, Ausbildung zum Internisten, Intensivmediziner und Kardiologen am Uniklinikum Augsburg. Wissenschaftliche Ausbildung in Münster/Westfalen am Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Habilitation und Professur an der LMU München, Oberarzt und Leiter der Katheterlabore am Klinikum Augsburg bis 2011. Seit 2011 Aufbau einer kardiologischen Klinik mit Intensivstation am Stiftungs Krankenhaus Nördlingen, Donau-Ries-Kliniken, seit 2016 Chefarzt und Direktor der vereinten kardiologischen und Internistischen Klinik und seit 2020 ärztlicher Direktor. Mitglied im wissenschaftlichen Beirat der Deutschen Herzstiftung, Mitglied Expertengruppe Herzkatheter/PCI-Qualitätssicherung am IQTIG.

5 Individuelle und regionale Risikofaktoren für hitzebedingte Hospitalisierungen der über 65-Jährigen in Deutschland

Hannah Klauber und Nicolas Koch

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-5, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Hitzebedingte Gesundheitsgefahren sind ungleich in der Bevölkerung verteilt. Insbesondere die ältere und vorerkrankte Bevölkerung gilt als gefährdet. Eine effiziente Anpassung an zunehmende Extremtemperaturen im Zuge des Klimawandels setzt Wissen über die Determinanten der Hitze-Vulnerabilität voraus, um eine zielgerichtete Versorgung Schutzbedürftiger sicherzustellen. Ziel der vorliegenden Studie ist deshalb die Identifikation von individuellen und regionalen Risikofaktoren für hitzebedingte Gesundheitsschäden bei der älteren Bevölkerung in Deutschland. Hierfür werden mit statistischen Methoden des maschinellen Lernens die Abrechnungsdaten aller Krankenhausbehandlungen der über 65-jährigen AOK-Versicherten in den Jahren 2008 bis 2018 analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass Hitzetage für etwa ein Viertel der über 65-Jährigen ein deutlich erhöhtes Risiko einer Hospitalisierung darstellen. Die besonders vulnerablen Versicherten sind im Durchschnitt häufiger männlich und leiden neben anderen chronischen Vorerkrankungen verstärkt unter Demenz und Alzheimer. Vulnerable leben zudem vermehrt in ländlichen Gebieten mit mehr Altersarmut, in denen weniger Pflegebedürftige ambulant oder stationär versorgt werden und die unter derzeitigen Klimabedingungen weniger von Hitze betroffen sind. Klimaprojektionen

zeigen eine deutlich stärkere Hitzeexposition für viele dieser Orte mit besonders anfälliger Bevölkerung in der Zukunft. Ein ungebremster Temperaturanstieg bis 2100 könnte daher zu einem fünffachen Anstieg der hitzebedingten Hospitalisierungen führen.

Heat-related health hazards distribute unevenly across the population. In particular, the elderly and people with pre-existing conditions are considered to be at risk. Efficient adaptation to more frequent extreme heat events in the course of climate change requires knowledge about the determinants of heat vulnerability to ensure targeted protection of those most in need of it. Therefore, this study aims to identify individual and regional risk factors for heat-related health damage in the elderly population in Germany. Statistical machine learning methods are used to analyze data of all hospital treatments of AOK-insured persons over 65 years of age from 2008 to 2018. The results show that heat days pose a significantly higher risk of hospitalization on about a quarter of the insured individuals. The most vulnerable are, on average, more likely to be male and suffer more from dementia and Alzheimer's disease, among other chronic conditions. They are more likely to live in rural areas with more poverty among the

elderly and fewer care recipients receiving outpatient or stationary assistance. Currently, these areas are less affected by heat, but climate projections show significantly greater heat exposure for many of these places with particularly vulnerable populations in the future. The rise in temperature under unabated climate change could thus lead to a fivefold increase in heat-related hospitalization by 2100.

5.1 Einführung

Zunehmende Extremtemperaturen durch den Klimawandel stellen eine Gesundheitsgefahr dar, die sich ungleich auf die globale Bevölkerung verteilt. Die ärmsten Länder sind am härtesten betroffen, doch Hitzewellen der vergangenen Jahre haben deutlicher als je zuvor die Auswirkungen des Klimawandels auch in Ländern mit hohem Einkommen gezeigt. Im außergewöhnlich heißen Sommer 2018 wurden in Europa 104.000 hitzebedingte Sterbefälle gezählt, mehr als in allen anderen WHO-Regionen (Watts et al. 2020). Besonders betroffen von der Hitze war Deutschland. Gemäß dem Lancet Countdown 2020 lagen die absoluten hitzebedingten Mortalitäten im Jahr 2018 nur in China und Indien höher (Watts et al. 2020).

Die Gesundheitsgefahren durch Hitze verteilen sich auch innerhalb einzelner Länder ungleich auf die Bevölkerung. Zu den am stärksten betroffenen Menschen zählen die über 65-Jährigen und Menschen mit Behinderungen und Vorerkrankungen (Campbell et al. 2018). Im Rahmen des Klimawandels werden die Gesundheitsrisiken insbesondere für diese Menschen weiter zunehmen. Für eine effektive Gestaltung von Schutzmaßnahmen muss daher nicht nur das regionale Hitzेरisiko, sondern auch die Vulnerabilität der lokalen Bevölkerung berücksichtigt werden. Die Beziehungen zwischen Temperatur und gesundheitlichen Auswirkungen werden von einer Reihe komplexer und interagierender Faktoren beeinflusst, darunter biologische, ökologische, medizinische, soziale und geografische Faktoren (Campbell et

al. 2018). Im Lancet Countdown 2020 wird deshalb eine lokale Planung und Umsetzung von Anpassungs- und Resilienzmaßnahmen gefordert sowie eine Einbeziehung der lokalen Kapazitäten, Ungleichheiten und Verteilung gefährdeter Bevölkerungsgruppen in nationale Anpassungsstrategien (Watts et al. 2020).

Ziel der vorliegenden Studie ist die Charakterisierung der gegenüber Hitze vulnerablen Bevölkerung in Deutschland. Auf Basis der gesamtdeutschen Versicherungsdaten der AOK und hochaufgelösten satellitengestützten Wettermessungen für die Jahre 2008 bis 2018 wird zunächst untersucht, wie unterschiedlich sich Temperaturen von mindestens 30°C auf die Hospitalisierungsrate der über 65-Jährigen auswirken. Anschließend werden Versicherte, die stark bzw. wenig unter Hitze leiden, bezüglich ihrer Vorerkrankungsprofile verglichen. Ergänzend folgt ein geografischer Vergleich zwischen Orten, in denen viele bzw. wenig vulnerable Versicherte leben, bezüglich ihrer infrastrukturellen und sozioökonomischen Eigenschaften. Abschließend wird projiziert, wie sich die Zahl und geografische Verteilung der hitzebedingten Hospitalisierungen in verschiedenen Klimaszenarien bis zum Ende des Jahrhunderts entwickeln. Für politische Entscheidungsträger ist ein Verständnis der individuellen und lokalen Risikofaktoren für hitzebedingte Beschwerden notwendig, damit sie die regionalen Gefahren und die Gesundheitsbedürfnisse der Bevölkerung bei der Gestaltung von Schutzmaßnahmen heute und in der Zukunft zielgerichtet ins Auge fassen können.

Für die Identifikation kausaler Effekte wird die Zufälligkeit im zeitlichen und räumlichen Auftreten von Hitzetagen als ein auf natürliche Weise auftretendes Experiment genutzt. Die Identifikation und Beschreibung heterogener Effekte erfolgt über eine Methode, die auf maschinellen Lernverfahren basiert (Chernozhukov et al. 2018) und unter anderem in der Analyse von Luftverschmutzungseffekten in den USA zum Einsatz gekommen ist (Deryugina et al. 2019).

Die Ergebnisse zeigen, dass Hitzetage mit Temperaturen von mindestens 30°C die Hospitalisierungsrate der AOK-Versicherten über 65 Jahre signifikant erhöhen und dass die Versicherten unterschiedlich betroffen sind. Der individuelle Gesundheitszustand, aber auch strukturelle Eigenschaften des Wohngebiets hängen deutlich mit der Vulnerabilität zusammen. Die vulnerabelsten Versicherten sind im Durchschnitt älter, kränker und häufiger männlich. Gebiete, in denen ein höherer Anteil vulnerabler Versicherter lebt, sind ländlicher, leiden unter mehr Altersarmut und weisen eine geringere Kapazität oder Inanspruchnahme von ambulanter und stationärer Pflege, aber auch eine höhere Hausärztedichte auf. Mit Blick auf die möglichen Entwicklungspfade des Klimawandels zeigt sich, dass unter Klimapolitik gemäß dem Pariser Klimaabkommen der *Status quo* erhalten werden könnte, während anhaltend hohe CO₂-Emissionen die hitzebedingten Hospitalisierungen bis 2100 um das Fünffache erhöhen könnten.

5.2 Daten

5.2.1 Gesundheitsdaten

Die vorliegende Analyse basiert auf Daten der AOK-Versicherten, die vom Wissenschaftlichen Institut der AOK (WidO) anonymisiert bereitgestellt werden. Einbezogen werden die Abrechnungsdaten aller vollstationären und ambulanten Krankenhausbehandlungen (§ 301 Abs. 1 SGB V bzw. § 295 SGB V) für Versicherte über 65 Jahre in den Jahren 2008 bis 2018. Entsprechend dem Auftreten von Hitzetagen werden nur die Monate Mai bis September betrachtet. Durchschnittlich liegen für jedes Jahr Daten zu etwa 5,8 Millionen Versicherten vor. Die Stammdaten enthalten Informationen zum Alter, Geschlecht und Wohnort (5-stellige PLZ). Die Abrechnungsdaten enthalten Informationen zum tagesgenauen Aufnahme datum einer jeden Krankenhausbehandlung. Auf dieser Ba-

sis wird ein Datensatz erstellt, der für alle Versicherten an jedem Lebenstag im Beobachtungszeitraum angibt, ob eine Krankenhausweisung stattfand oder nicht. Dieser Datensatz wird mit zusätzlichen Informationen zur Morbidität der Versicherten verknüpft. Durch 76 dichotome Variablen wird das Vorliegen verschiedener ICD-10-klassifizierter Gruppen an Vorerkrankungen und ATC-klassifizierter Arzneimitteltherapien erfasst. Die Morbiditätsvariablen wurden vom WidO für alle Versicherten und jedes Versicherungsquartal auf Basis der Abrechnungsdaten in den acht vorangegangenen Quartalen generiert. Betrachtet werden insbesondere chronische Krankheiten, z.B. chronische Herz- und Atemwegserkrankungen, Diabetes, Demenz und Alzheimer, sowie Erkrankungen, die in Deutschland am häufigsten Grund einer Hospitalisierung in der älteren Bevölkerung sind (Destatis 2017). Versicherte, die in den acht vorigen Quartalen nicht durchgehend versichert sind, werden aus der Analyse ausgeschlossen.

5.2.2 Wetter- und Luftverschmutzungsdaten

Die verwendeten Wettervariablen stammen aus dem Datenprodukt ERA5 des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW). Die Daten werden stündlich erfasst und decken die Erde in einem Raster mit einer horizontalen Auflösung von 31 km ab. Für die Analyse werden die Messungen für jeden Tag und jedes PLZ-Gebiet aggregiert. Hitzetage werden entsprechend der meteorologisch-klimatologischen Bezeichnung als Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30°C definiert. Um mögliche Interaktionseffekte zu berücksichtigen, werden auch ERA5-Wetterdaten zur Wolkenbedeckung, relativen Feuchtigkeit, Ozonbelastung, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie zum Niederschlag, Oberflächendruck und vertikalen Luftaustausch einbezogen. Betrachtet wird jeweils der minimale, mittlere und maximale Tagesmesswert.

Zusätzlich werden jährliche Daten zur Feinstaub- ($PM_{2.5}$) und Stickoxidbelastung (NO_2) herangezogen, um die dauerhafte Exposition gegenüber Luftverschmutzung zu berücksichtigen. Bei den $PM_{2.5}$ -Daten handelt es sich um aufbereitete Satellitenmessdaten von Van Donkelaar et al. (2019), die als Raster mit einer horizontalen Auflösung von etwa einem Kilometer verfügbar sind. Die NO_2 -Daten wurden vom Umweltbundesamt (2020) auf Basis der Daten lokaler Messstationen für die Fläche interpoliert und sind ebenfalls als Raster mit einer horizontalen Auflösung von etwa zwei Kilometern verfügbar. Für die Zukunftsprojektionen werden bereinigte Daten zu den täglichen Höchsttemperaturwerten aus dem Princeton Earth System Model des Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-ESM4) verwendet, welches eines der globalen Klimamodelle der sechsten Phase des Coupled Model Intercomparison Project (CMIP-6) ist (ISIMIP 2020; Lange 2019).

5.2.3 Sozioökonomische, demografische und infrastrukturelle Daten

Insgesamt werden 226 zeitinvariante Variablen zu den demografischen (z.B. Altersstruktur, Haushaltsgröße und Wohnraumfläche), sozioökonomischen (z.B. Statusklasse und Altersarmut) und infrastrukturellen (z.B. Apotheken und Hausärztedichte, Pflegeversorgung und Distanz zum nächstgelegenen Krankenhaus) Eigenschaften der Wohnorte der Versicherten aus verschiedenen Datenquellen auf der PLZ-Ebene zusammengetragen. Die Rasterdaten des Zensus 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder liefern räumlich hoch aufgelöste Informationen zu den demografischen Eigenschaften der Haushalte. Über OpenStreetMap werden frei verfügbare Geodaten automatisiert abgerufen und teils mithilfe der Google Maps Programmier-Schnittstelle zu Variablen zusammengefasst. Der sozioökonomische Status wird genauer durch eine Variable des Daten-

dienstleisters Acxiom erfasst, welche die Haushalte eines jeden PLZ-Gebietes in neun sozioökonomische Statusklassen kategorisiert. Für die deskriptiven Analysen werden weitere Daten des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) verwendet. Eine ausführliche Beschreibung aller Variablen ist online verfügbar (<https://mycloud.mcc-berlin.net/index.php/s/PcHcoeBFs4pdAyl>).

5.3 Methodik

Der etablierten Literatur (z.B. Karlsson u. Ziethar 2018; Hsiang 2016; Deschênes u. Greenstone 2011) folgend, nutzt diese Studie einen Regressionsansatz, um Morbiditätsunterschiede zwischen einer von Hitze betroffenen Gruppe (exponierte Gruppe) und einer nicht von Hitze betroffenen Gruppe (Kontrollgruppe) zu identifizieren. Durch die Einbindung sogenannter „Fixed Effects“ werden die Vergleiche auf Beobachtungen innerhalb festgelegter räumlicher und zeitlicher Einheiten beschränkt. Das Auftreten der Hitzeereignisse innerhalb der Einheiten, z.B. in einem Landkreis und einem Jahr, kann als zufällig betrachtet werden. In diesem Fall ist der identifizierte Gruppenunterschied als kausaler Hitzeeffekt interpretierbar. In der vorliegenden exponierten Gruppe befinden sich alle Versicherten an Tagen mit Hitzeexposition, in der Kontrollgruppe alle Versicherten an Tagen ohne Hitzeexposition. Dieselbe Person kann somit in beiden Gruppen enthalten sein.

Zur Schätzung heterogener Hitzeeffekte wird ein von Chernozhukov et al. (2018) entwickeltes Verfahren angewendet, welches im Folgenden skizziert wird. Zunächst werden die Daten zufällig in einen Trainings- und einen Analysedatensatz geteilt, wobei beide Teile etwa 50% der Versicherten abdecken. Auf Basis des Trainingsdatensatzes wird ein Prädiktionsmodell mit einem Gradient-Tree-Boosting-Algorithmus trainiert. Dieses bestimmt die Hospitalisierungswahrscheinlichkeit für alle Ver-

sicherten i an jedem Tag t als Funktion der Variablen Z_{it} . Z_{it} beinhaltet alle Informationen zu den Versicherten (79 Variablen), den täglichen Wetter- und Luftbedingungen (26 Variablen) und den Wohnortseigenschaften (226 Variablen) sowie Fixed Effects für die Einheiten Monat, Jahr und Landkreis (425 Variablen). Das Prädiktionsmodell wird zweifach geschätzt, einmal für die exponierte Gruppe und einmal für die Kontrollgruppe. Anschließend wird für jede Beobachtung im Analysedatensatz die Hospitalisierungswahrscheinlichkeiten mit beiden Modellen prognostiziert, d. h. einmal so, als wäre die Person i an Tag t Hitze ausgesetzt, und einmal so, als wäre dies nicht der Fall. Die Differenz der Prognosen $\hat{S}(Z_{it})$ entspricht der Veränderung in der Hospitalisierungswahrscheinlichkeit, die auf Hitze zurückzuführen ist, und dient als Proxy für die Vulnerabilität der Versicherten.

Es werden zwei Regressionsmodelle auf Basis des Analysedatensatzes geschätzt. Die erste Gleichung ermittelt den unverzerrten Schätzer des durchschnittlichen Hitzeeffektes und testet, ob Heterogenität, die durch den Vulnerabilitäts-Proxy $\hat{S}(Z_{it})$ erfasst wird, im Hitzeeffekt vorliegt. Mit der zweiten Gleichung werden die Unterschiede im Hitzeeffekt für sieben unterschiedlich vulnerable Gruppen untersucht. Die Gruppen entsprechen den Perzentilen [0, 25), [25, 50), [50, 75), [75, 85), [85, 95), [95, 99) und [99, 100] des Vulnerabilitäts-Proxys $\hat{S}(Z_{it})$. Eine ausführliche Beschreibung des methodischen Verfahrens ist online verfügbar (<https://mycloud.mcc-berlin.net/index.php/s/4fFbCzpDYrIFEGe>).

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Der Effekt von Hitzetagen auf die Anzahl der Hospitalisierungen

Zunächst wird untersucht, wie sich Hitzetage im Durchschnitt auf die Hospitalisierungsrate auswirken und ob der Effekt von Hitze Heterogenitäten aufweist. Der Regressionskoeffizient

Tab. 1 Schätzung des bedingten durchschnittlichen Hitzeeffektes. Die Tabelle zeigt die geschätzten Koeffizienten der ersten Regressionsgleichung. Die abhängige Variable ist die tägliche Hospitalisierungsrate je Million Versicherte. Der Parameter β_1 misst den durchschnittlichen Effekt eines Hitzetages auf die Hospitalisierungsrate. Ein Ablehnen der Nullhypothese $\beta_2 = 0$ impliziert, dass Heterogenität präsent ist und der Vulnerabilitäts-Proxy $\hat{S}(Z_{it})$ Komponenten dieser Heterogenität erfasst. Standardfehler sind auf Ebene der PLZ-Gebiete geclustert und in Klammern angegeben. (***) $p < 0,001$; (**) $p < 0,01$; (*) $p < 0,05$

	zusätzliche Hospitalisierungen je Million Versicherte (Standardfehler)
β_1 (Effekt eines Hitzetages)	39,79*** (5,23)
β_2 (Heterogenität im Hitzeeffekt)	48.854,26*** (10.609,56)
Beobachtungen	506.966.676

β_1 in Tabelle 1 zeigt, dass ein zusätzlicher heißer Tag mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30°C die Hospitalisierung im Durchschnitt um 39,79 (95% KI: 29,53–50,05) Einweisungen je Million Versicherte erhöht.

Der zweite in Tabelle 1 angegebene Koeffizient dient der Heterogenitätsanalyse. Da der Koeffizient mit einem p-Wert deutlich unter 0,001 statistisch hoch signifikant ausfällt, kann die Nullhypothese, dass es keine Unterschiede in der Vulnerabilität gegenüber Hitze unter den Versicherten gibt, abgelehnt werden. Die Variablen zu Demografie, Krankheitsgeschichte und Wohngebietseigenschaften der Versicherten bilden somit einen relevanten Teil der Heterogenität ab.

Abbildung 1 zeigt die durchschnittlichen Hitzeeffekte für sieben unterschiedliche Vulnerabilität prognostiziert wurde, sowie deren 95%-Konfidenzintervalle. Das Intervall [0, 25) umfasst wenig vulnerable Versicherte, also diejenigen

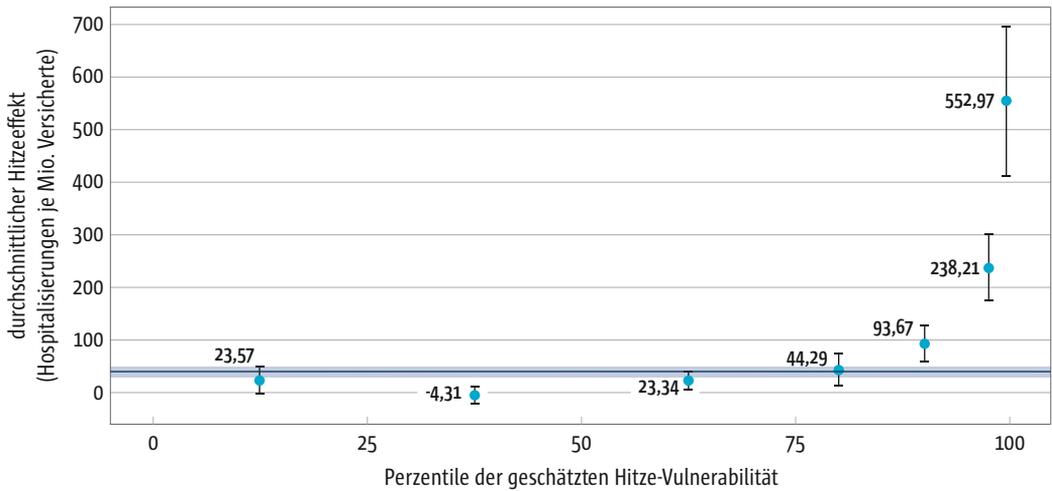


Abb. 1 Die durchschnittlichen Hitzeeffekte für unterschiedlich vulnerable Versichertengruppen. Die Abbildung zeigt die durchschnittlichen Hitzeeffekte für Versicherte in den Perzentilen [0,25), [25,50), [50,75), [75,85), [85,95), [95,99) und [99,100] der prognostizierten Hospitalisierungswahrscheinlichkeit mit 95%-Konfidenzintervallen aus der zweiten Regressionsgleichung. Die horizontale farbige Linie zeigt den mittleren Hitzeeffekt (39,79) aus Tabelle 1 mit 95%-Konfidenzintervall. Standardfehler sind auf der Ebene der PLZ-Gebiete geclustert. Die Zahl der Beobachtungen in der Regression entspricht 506.966.676.

mit der geringsten prognostizierten hitzebedingten Hospitalisierungswahrscheinlichkeit. Versicherte im Intervall [99,100] gehören zu den vulnerabelsten Individuen. Abbildung 1 zeigt, dass Hitze für einen großen Teil der Versicherten im Intervall [0, 75) keinen oder nur einen kleinen Effekt auf die Hospitalisierungswahrscheinlichkeit hat. Dass die Koeffizienten in diesem Bereich nicht kontinuierlich ansteigen, kann darauf hindeuten, dass geringe Hospitalisierungswahrscheinlichkeiten weniger präzise prognostiziert werden. Für die oberen Perzentile nimmt der Hitzeeffekt signifikant und rasant zu. Für die vulnerabelsten 1% der Versicherten steigt die Hospitalisierungsrate an Hitzetagen um 552,96 je Million Versicherte. Dies entspricht fast dem 14-Fachen des durchschnittlichen Hitzeeffektes in Tabelle 1. Im Folgenden werden nur noch Versicherte mit einer prognostizierten Vulnerabilität im oberen 25%-Perzentil als „vulnerabel“ beschrieben. Versicherte im oberen 1%-Perzentil werden zudem als „besonders vulnerabel“ bezeichnet.

5.4.2 Charakterisierung der vulnerabelsten Versicherten

Die Gruppe der Bevölkerung, auf die sich die größten Hitzeeffekte konzentrieren, wird nachfolgend näher charakterisiert. Hierzu werden die besonders vulnerablen 1% der Versicherten mit den 75% als nicht vulnerabel eingestuftem Versicherten verglichen. Zunächst zeigt sich, dass die besonders vulnerable Gruppe durchschnittlich signifikant älter und überproportional männlich ist. Der Altersunterschied liegt bei etwa 3,27 Jahren (95% KI: 3,24–3,30), der Unterschied im Anteil der männlichen Versicherten bei 2,97 Prozentpunkten (95% KI: 2,83–3,11). In Abbildung 2 sind zudem die Gruppenunterschiede in Bezug auf verschiedene ärztlich diagnostizierte Vorerkrankungen (Panel I) und Arzneimittelverschreibungen (Panel II) abgebildet.

Insgesamt zeigt sich, dass die besonders vulnerable Gruppe alle betrachteten Erkrankungen und Arzneimittelverschreibungen häufiger

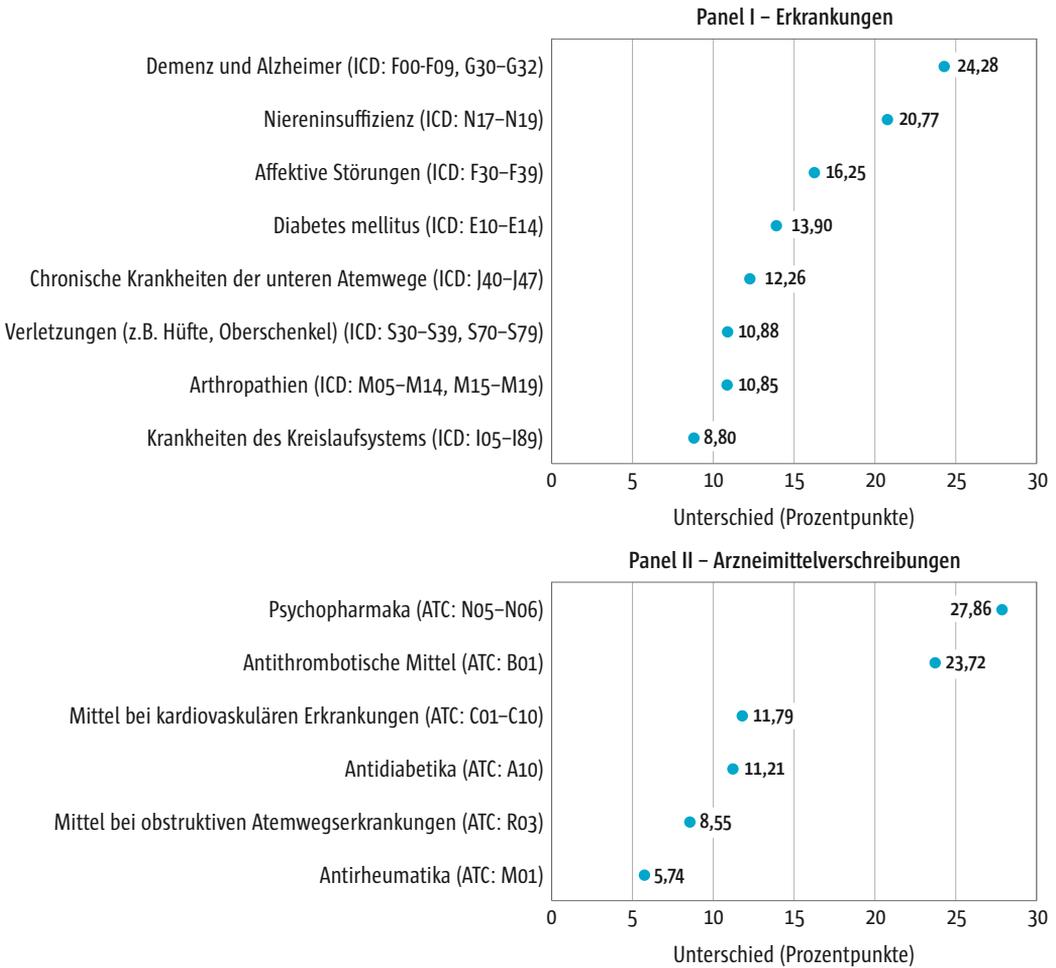


Abb. 2 Morbiditätsunterschiede zwischen den am stärksten und am wenigsten von Hitze betroffenen Versicherten. Die abgebildeten Koeffizienten geben den durchschnittlichen Unterschied der Versicherten im oberen 1%-Perzentil und den Versicherten bis zum 75%-Perzentil der prognostizierten Vulnerabilität in Bezug auf verschiedene Erkrankungen (Panel I) und verschriebene Arzneimittel (Panel II) an. Die 95%-Konfidenzintervalle der Koeffizienten werden in der Abbildung aufgrund ihrer geringen Größe von den Punktschätzern verdeckt. Die zugrunde liegenden Regressionen basieren auf 385.294.673 Beobachtungen. Standardfehler sind auf der Ebene der PLZ-Gebiete geclustert.

aufweist. Bei den diagnostizierten Erkrankungen liegt der größte Unterschied bei Demenz und Alzheimer. Der Anteil der Versicherten mit diesen Erkrankungen liegt etwa 24 Prozentpunkte höher als in der Vergleichsgruppe. Auch bei affektiven Störungen und der Verschreibung von Psychopharmaka gibt es größere

Gruppenunterschiede. Wie eine Untersuchung von Heimbewohnern im Pflege-Report 2017 zeigt, werden insbesondere Demenzkranken aufgrund von Verhaltensauffälligkeiten häufig Psychopharmaka verabreicht (Thürmann 2017). Demenz geht mit einem höheren Risiko einer Dehydrierung einher (Easterling u. Robbins

2008; Mentis 2006; s. Kap. 14). Gleichzeitig stellen zahlreiche Studien fest, dass sich Hitze insbesondere auf Krankheiten auswirkt, die durch Dehydrierung hervorgerufen werden können (Jagai et al. 2017; Li et al. 2015; Bobb et al. 2014). Zu diesen Krankheiten zählt auch die an zweiter Stelle in Abbildung 2, Panel I aufgeführte Niereninsuffizienz.

Der geringste Unterschied zeigt sich im Anteil der kardiovaskulären Erkrankungen. Allerdings ist die betrachtete Gruppe (ICD-10 I05-I89) sehr breit definiert und Mehrfachdiagnosen werden durch die dichotome Variable nicht erfasst. Es ist daher durchaus möglich, dass der Unterschied für spezifische Diagnosegruppen größer oder kleiner ausfällt (Bobb et al. 2014). Hierfür spricht auch die weniger eindeutige Studienlage zu kardiovaskulären Morbiditätseffekten (z.B. Phung et al. 2016; Li et al. 2015). Je nach betrachteter ICD-Gruppe im Kapitel I, werden in den Studien nur teilweise und unterschiedlich stark ausgeprägte Hitzeeffekte identifiziert. Mit Blick auf die Arzneimittel in Abbildung 2, Panel II zeigt sich zudem, dass ein um 23 Prozentpunkte höherer Anteil der Versicherten in der besonders vulnerablen Gruppe antithrombotische Mittel einnimmt, die z.B. zur Vermeidung von Herzinfarkten, Schlaganfällen, Embolien oder Beinvenenthrombose eingesetzt werden.

5.4.3 Charakterisierung des Hitzejahrs 2018

Im besonders heißen Jahr 2018 lag der Temperaturdurchschnitt um 2,2 Grad über dem Wert der international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990. Es ist damit das wärmste Jahr seit Messbeginn 1881 (DWD 2018). Insbesondere die Regionen Berlin und Brandenburg und das Rhein-Main-Gebiet waren stark von Hitze betroffen, wie die Verteilung der heißen Tage in Abbildung 3 in Panel I verdeutlicht.

Geografische Verteilung der vulnerablen Versicherten

Kapitel 5.4.1 und 5.4.2 zeigen, dass Versicherte unterschiedlich vulnerabel gegenüber Hitze sind. Dies hat zur Folge, dass die am stärksten unter Hitze leidenden Menschen nicht zwangsläufig in den am stärksten durch Hitze geprägten Gebieten wohnen müssen. Daher wird im Folgenden die geografische Verteilung der vulnerablen Versicherten für das Jahr 2018 betrachtet.

Panel II in Abbildung 3 zeigt, welcher Anteil der Versicherten je PLZ-Gebiet zur vulnerablen Bevölkerung zählt, das heißt eine prognostizierte Vulnerabilität im oberen 25%-Perzentil aufweist. Wären die vulnerablen Versicherten geografisch gleichmäßig verteilt, würde der Anteil in jedem PLZ-Gebiet genau 25% entsprechen. Anteile unter 25% bedeuten somit, dass die im PLZ-Gebiet Lebenden im Durchschnitt weniger vulnerabel sind als der durchschnittliche AOK-Versicherte. Anteile über 25% zeigen eine überproportional vulnerable Bevölkerung an. Vergleicht man Panel II mit Panel I, deutet sich ein negativer Zusammenhang zwischen der Hitzeexposition und der Vulnerabilität an, der im folgenden Abschnitt quantifiziert wird. Die Abbildung macht jedoch deutlich, dass eine große Dispersion vorliegt, bei der in einigen PLZ-Gebieten gar keine vulnerablen Versicherten wohnhaft sind, während in anderen Gebieten alle Versicherten als vulnerabel eingeordnet werden. Auch lokal bestehen große Unterschiede, die Anteile benachbarter Gebiete unterscheiden sich mitunter stark. Zu beachten ist, dass die prognostizierte Vulnerabilität sowohl vom individuellen gesundheitlichen Zustand als auch den lokalen Angebots- und Versorgungsstrukturen abhängt. Eine hohe Vulnerabilität kann somit einerseits auf eine höhere Morbidität zurückzuführen sein, die das Auftreten von Hitzeschäden begünstigt. Andererseits kann sie auch durch lokale Versorgungsstrukturen bedingt sein.

In Panel III in Abbildung 3 sind die hitzebedingten Hospitalisierungen je Million Versicher-

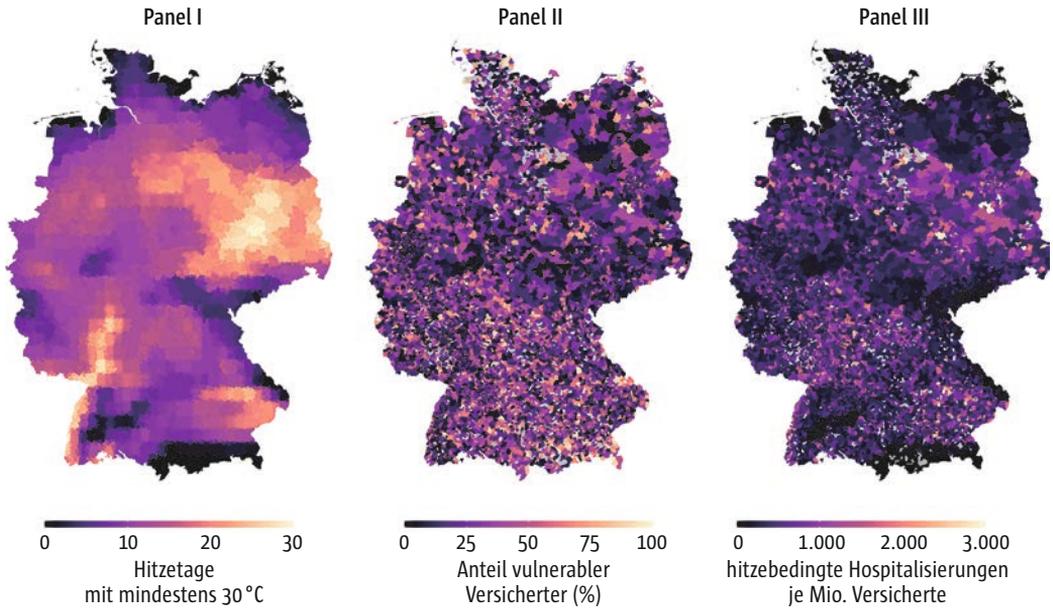


Abb. 3 Geografische Verteilung der Hitzetage, Hitze-Vulnerabilität und hitzebedingten Hospitalisierungen im Jahr 2018. Panel I zeigt die Verteilung der heißen Tage mit Temperaturen von mindestens 30°C. Panel II zeigt den Anteil der Versicherten in jedem PLZ-Gebiet, der vulnerabel gegenüber Hitze ist, d.h. eine prognostizierte Vulnerabilität im oberen 25%-Perzentil aufweist. Panel III zeigt die zusätzlichen durch hitzebedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte, die auf Basis der Regressionskoeffizienten in Abbildung 1 für das Gesamtjahr hochgerechnet wurden. Gebiete mit weniger als 100 Versicherten in Panel II und III sind grau eingefärbt.

te für jedes PLZ-Gebiet dargestellt. Die Werte ergeben sich als Summe der Regressionskoeffizienten in Abbildung 1 multipliziert mit dem Anteil der Versicherten je Perzentil und den Hitzetagen in 2018. Kaum betroffen sind die Küstenregion, die Mittelgebirgsschwelle und das südliche Alpenvorland, wodurch sich ein Muster ergibt, das durch zwei Bänder gekennzeichnet ist. Hervor sticht das Gebiet Nuthe-Urstromtal in Brandenburg, welches sowohl stark von Hitze betroffen ist als auch einen hohen Anteil vulnerabler Versicherter aufweist. Die Grafik verdeutlicht, dass die hitzebedingte Hospitalisierung ein Produkt der Hitzebelastung (Panel I) und der Vulnerabilität der lokalen Bevölkerung (Panel II) ist. Noch deutlicher wird dies in Abbildung 4, welche die PLZ-Gebiete in einer Vier-Felder-Matrix anordnet. Die oberen beiden Felder der Grafik umfassen alle Gebiete mit einer überdurch-

schnittlich hohen hitzebedingten Hospitalisierung je Million Versicherte. Die beiden rechten Felder umfassen Gebiete mit überdurchschnittlich vielen Hitzetagen im Jahr 2018. Ließe sich die hitzebedingte Hospitalisierung allein durch die Hitzebelastung erklären, so würden sich die PLZ-Gebiete auf einer Geraden reihen. Die stattdessen sichtbare Streuung veranschaulicht das Vorhandensein heterogener Zusammenhänge. Auf der einen Seite gibt es Gebiete mit einer überdurchschnittlich hohen hitzebedingten Hospitalisierung bei unterdurchschnittlich vielen Hitzetagen, darunter z.B. Ansbach (BY), Böblingen (BW) und Herrenberg (BW). Auf der anderen Seite gibt es Gebiete, die überdurchschnittlich stark von Hitze betroffen sind, aber unterdurchschnittlich viele hitzebedingte Hospitalisierungen aufweisen, darunter z.B. Freital (SN), Bautzen (SN) und Gotha (TH).

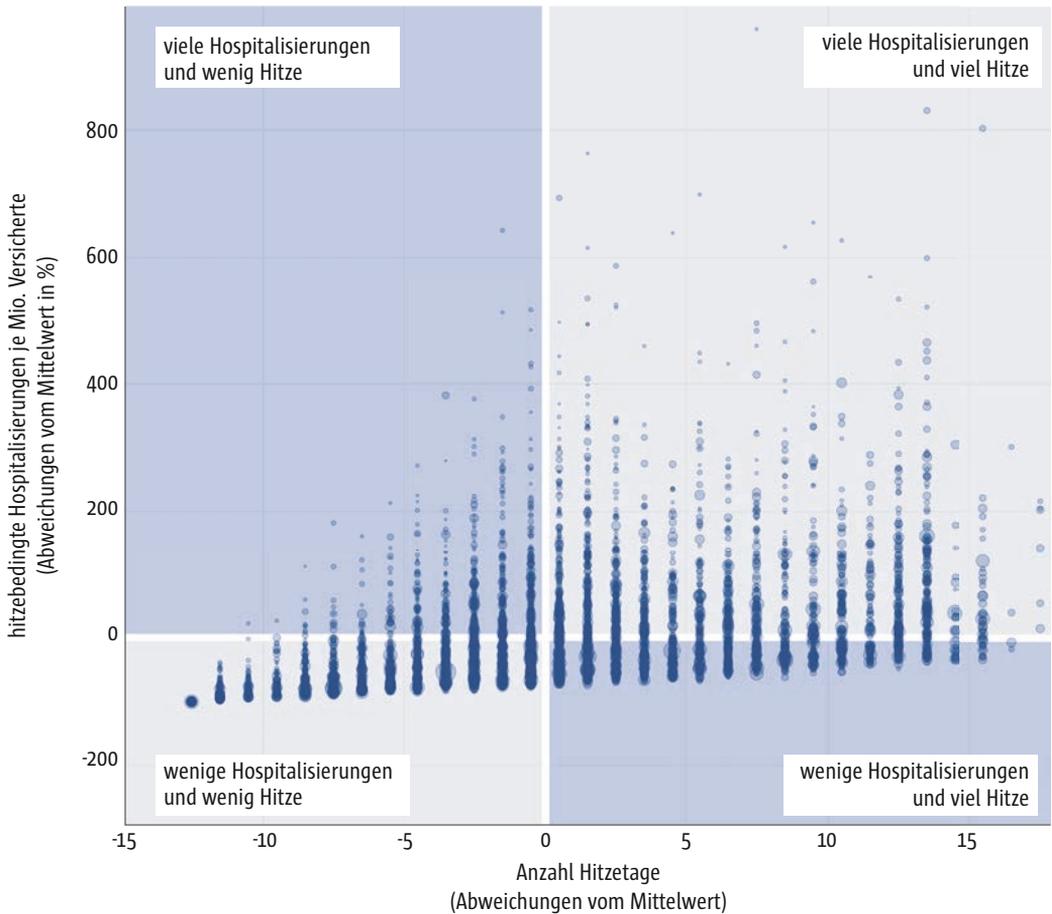


Abb. 4 Vier-Felder-Matrix zur Hitzebelastung und hitzebedingten Hospitalisierung im Jahr 2018. Die Abbildung ordnet die PLZ-Gebiete in einer Vier-Felder-Matrix an. Auf der y-Achse ist die relative Abweichung der zusätzlichen durch Hitze bedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte vom Mittelwert angegeben. Auf der x-Achse ist die absolute Abweichung der Zahl der Hitzetage vom Mittelwert angegeben. Die Größe der Kreise ist proportional zur Anzahl der Versicherten im PLZ-Gebiet. Es werden nur Gebiete mit mindestens 100 Versicherten abgebildet.

Eigenschaften der PLZ-Gebiete mit vielen vulnerablen Versicherten

Im nächsten Schritt wird deskriptiv untersucht, ob lokale sozioökonomische und demografische Faktoren sowie Kennzeichen der lokalen Gesundheitsversorgung den stark unterschiedlichen Anteil der vulnerablen Versicherten in einem PLZ-Gebiet vorhersagen. Hierfür wird eine LASSO-Regression geschätzt, in der

die abhängige Variable die Anzahl der vulnerablen Versicherten im oberen 25%-Perzentil der prognostizierten Vulnerabilität je PLZ-Gebiet ist. Die erklärenden Variablen sind auf der linken Seite von Abbildung 5 aufgelistet. Zusätzlich wird für die Gesamtzahl der Versicherten im PLZ-Gebiet und die Region (Ost-, Süd-, West- und Norddeutschland) kontrolliert. Die abgebildeten Koeffizienten geben die standardisierten Zusammenhänge zwischen den Va-

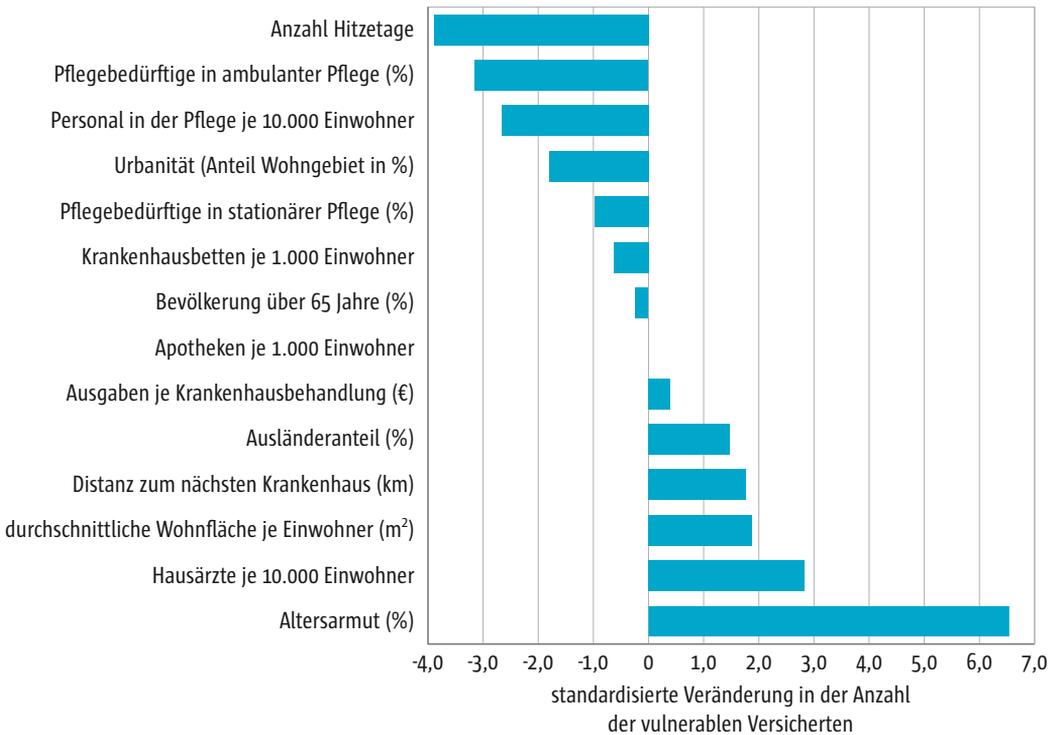


Abb. 5 Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der Wohnorte (PLZ-Gebiete) und der Vulnerabilität der Versicherten. Die Abbildung zeigt, inwiefern Eigenschaften der PLZ-Gebiete die Zahl der vulnerablen Versicherten vorhersagen können. Die geschätzten Koeffizienten stammen aus einer LASSO-Regression, welche die Koeffizienten nicht relevanter Variablen gleich Null setzt. Die Anzahl der heißen Tage bezieht sich auf das Jahr 2018. Die Krankenhausausgaben beziehen sich nur auf die AOK-Versicherten im PLZ-Gebiet und auf das Vorjahr 2017. PLZ-Gebiete mit weniger als 100 Versicherten werden ausgeschlossen. Die Regression basiert auf 7.264 Beobachtungen.

riablen und der Anzahl der vulnerablen Versicherten an. Bei der Interpretation dieser Zusammenhänge ist zu beachten, dass die Koeffizienten keine kausalen Rückschlüsse zulassen. Das bedeutet, dass negativ bzw. positiv assoziierte Wohnorteseigenschaften als Indikatoren für Gebiete mit weniger bzw. mehr vulnerablen Versicherten dienen können, sie jedoch in keinem kausalen Zusammenhang mit der Vulnerabilität stehen müssen. Es ist möglich, dass sie lediglich mit einer dritten Variable korrelieren, die wiederum direkten Einfluss auf die Vulnerabilität hat. Leben weniger vulnerable Versicherte in Gebieten mit mehr Krankenhausbetten je Einwohner, kann dies beispiels-

weise damit zusammenhängen, dass diese Gebiete in der Regel urbaner sind und es Unterschiede in der Morbidität und der sonstigen Angebots- und Versorgungslage zwischen dem städtischen und ländlichen Raum gibt.

Die Ergebnisse erhärten, dass vulnerable Versicherte vermehrt in Gebieten mit weniger Hitzetagen leben. Zu den negativ assoziierten Variablen gehören auch alle, die mit der Versorgung von Pflegebedürftigen zusammenhängen. Wird ein größerer Anteil der Pflegebedürftigen durch ambulante Pflegedienste unterstützt oder befindet sich dauerhaft in stationärer Pflege, so ist die Zahl der vulnerablen Versicherten im PLZ-Gebiet geringer. Auch die

Höhe des Personals in der Pflege steht in einem negativen Zusammenhang mit der Vulnerabilität. Weitere negativ korrelierte Variablen sind die Urbanität eines PLZ-Gebietes, die Anzahl der Krankenhausbetten sowie der Anteil der älteren Bevölkerung an der Bevölkerung insgesamt.

In einem positiven Zusammenhang steht die Altersarmut. Auch ist, im Gegensatz zu den anderen Variablen zur Gesundheitsversorgung, die Zahl der niedergelassenen Hausärzte positiv korreliert. Höhere Ausgaben für Krankenhausbehandlungen der Versicherten im Vorjahr könnten auf eine höhere Morbidität der Versicherten hinweisen. Schließlich stehen auch Variablen, die für ländlichere Gegenden typisch sind, wie eine längere Fahrtdistanz zum nächsten Krankenhaus und mehr Wohnraum je Einwohner, in einem positiven Zusammenhang mit der Vulnerabilität gegenüber Hitze.

5.4.4 Hitzebedingte Hospitalisierungen im Wandel des Klimas

Durch einen ungebremsten Klimawandel können die Temperaturen in ganz Deutschland zunehmen. Daher ist auch die Vulnerabilität der bislang weniger von Hitze betroffenen Bevölkerung mit Blick auf künftige Entwicklungen von Bedeutung.

Panel I in Abbildung 6 zeigt die künftige Entwicklung der Hitzetage in zwei möglichen Klimaentwicklungsszenarien, welche Grundlage des sechsten Sachstandsberichts des Weltklimarates (IPCC) sind. Die Szenarien stellen eine Kombination aus möglichen Entwicklungspfaden der Treibhausgaskonzentration (Representative concentration pathways – RCPs) auf der einen Seite und der globalen Gesellschaft, Demografie und Wirtschaft (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs) auf der anderen Seite dar. Das linke Szenario „SSP1/RCP2.6“ entspricht einem Bestfall-Szenario, bei dem es eine zunehmende Verlagerung hin zu strikter Klimaschutzpolitik gibt und der globale Temperatur-

anstieg bis 2100 unter Einhaltung des Pariser Klimaabkommens deutlich unter 2°C gehalten werden kann. Das Szenario „SSP5/RCP8.5“ rechts daneben stellt ein Schlimmstfall-Szenario dar, bei dem die globale Wirtschaft auf fossilen Brennstoffen basiert, keine Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen ergriffen werden und die Temperaturen bis 2100 um 4,7–5,1°C ansteigen. Eine genauere Beschreibung der Szenarien liefert Hausfather (2018). In Abbildung 6 dargestellt sind der Durchschnitt der Hitzetage über die Jahre 2009 bis 2018 und die Projektionen der Hitzetage für die Jahre 2050 und 2100 in beiden Szenarien. In Panel II ist die hochgerechnete hitzebedingte Hospitalisierungsrate je Million Versicherte illustriert. Sie zeigt die Verteilung der Krankenhauseinweisungen, die sich *ceteris paribus* ergeben würde, wenn die AOK-Versicherten aus dem Jahr 2018 in einem Klima wie in 2050 bzw. 2100 leben würden. Zukünftige Adaptionsmaßnahmen an ein verändertes Klima und demografische Entwicklungen werden in der Darstellung nicht berücksichtigt.

Das Gesamtbild verdeutlicht, dass unter Klimapolitik gemäß dem Pariser Klimaabkommen der *Status quo* erhalten werden kann, während die Gesundheitsschäden durch Hitze im Szenario mit hohen CO₂-Emissionen stark zunehmen. Verglichen mit dem Durchschnitt in den Jahren 2009 bis 2018, würde die Zahl der hitzebedingten Krankenhauseinweisungen bis zum Jahr 2050 bereits um 85% und bis zum Jahr 2100 um 488% steigen. Die Zeitachse in der Mitte der Abbildung verdeutlicht, dass ein Verfehlen des 2°C-Ziels nicht erst für künftige Generationen fatale Gesundheitsfolgen haben kann. Bereits die heute 35-Jährigen werden ihre gesamte Lebensphase ab dem 65. Lebensjahr unter einer Hitzebelastung, die sich zwischen den für 2050 und 2100 abgebildeten Szenarien bewegt, verbringen.

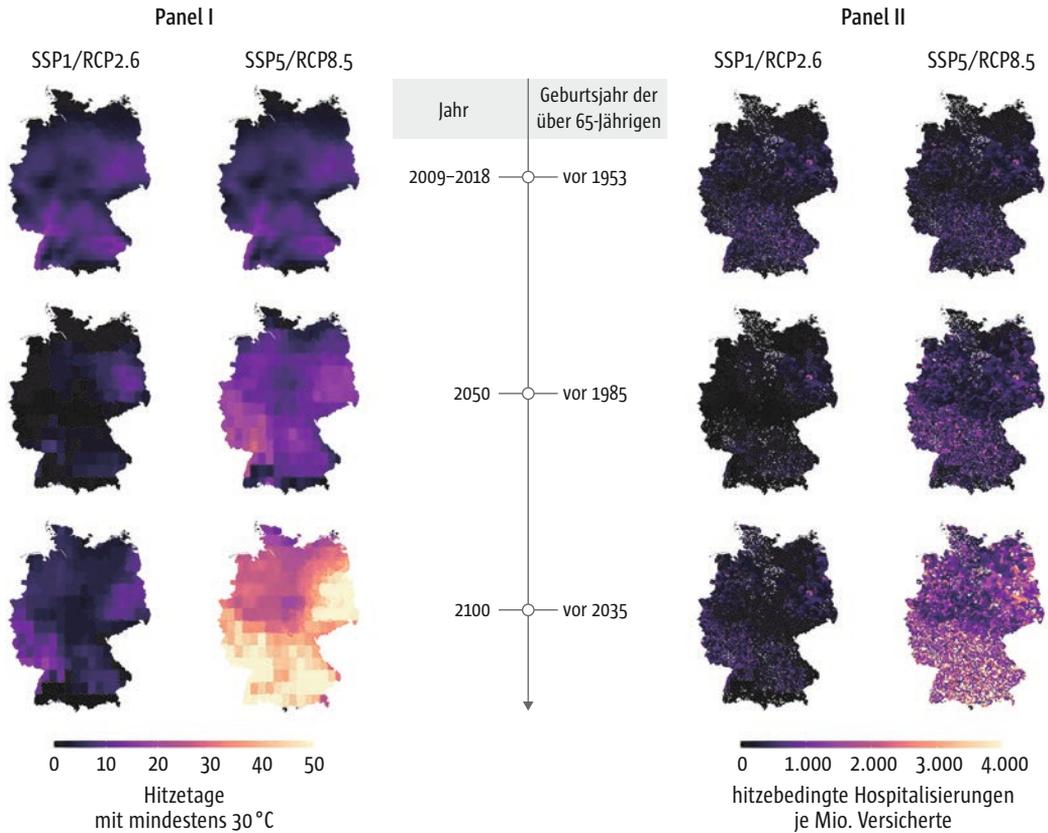


Abb. 6 Projektionen der Hitzetage und hitzebedingten Hospitalisierungen in zukünftige Klimaszenarien. Panel I zeigt die Zahl der Hitzetage mit mindestens 30°C pro Jahr und PLZ-Gebiet, Panel II die Zahl der hitzebedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte, Jahr und PLZ-Gebiet. Die hochgerechnete hitzebedingte Hospitalisierungsrate in Panel II basiert auf der prognostizierten Vulnerabilität der Versicherten in 2018 und den Regressionskoeffizienten in Abbildung 1. Die Gebiete mit weniger als 100 Versicherten in Panel II sind grau eingefärbt.

5.5 Diskussion

Die vorliegende Studie zeigt, dass Hitzetage mit Temperaturen von mindestens 30°C für etwa ein Viertel der AOK-Versicherten über 65 Jahre ein erhöhtes Risiko einer Hospitalisierung darstellen. Das höchste Risiko konzentriert sich auf eine kleine Versichertengruppe, die gezielt Schutz bedarf. Die besonders vulnerablen 1% der Versicherten sind im Durchschnitt älter, kränker und häufiger männlich als die Versicherten, die kaum von Hitze betroffen sind. In Bezug auf alle betrachteten Vorerkrankungen und

Arzneimittelverschreibungen zeigt sich der größte Unterschied in den Fallzahlen bei Demenz- und Alzheimererkrankungen, was mit dem erhöhten Risiko einer Dehydrierung zusammenhängen könnte (Easterling u. Robbins 2008; Menten 2006).

Mit Blick auf die geografische Verteilung zeigt sich, dass vulnerable Versicherte vermehrt in ländlicheren Gebieten mit weniger Kapazität oder Inanspruchnahme von ambulanten und stationärer Pflege, mehr Altersarmut, aber auch einer höheren Hausärztedichte wohnhaft sind. Diese Zusammenhänge kön-

nen nicht als ursächlich beschrieben, aber im Rahmen möglicher Erklärungen diskutiert werden. Plausibel erscheint, dass Hitzeschäden bei Pflegebedürftigen unter professioneller Betreuung möglicherweise eher verhindert werden als bei Alleinlebenden oder zu Hause durch Angehörige Gepflegten. Dass die Vulnerabilität in ländlichen Gebieten höher ausfällt, könnte auf die Vorerkrankungen der dort lebenden Versicherten, die medizinische Infrastruktur vor Ort wie auch auf den weniger routinierten Umgang mit Hitze, z.B. durch das Fehlen von Warnsystemen und Hitze-Aktionsplänen, zurückzuführen sein (Jagai et al. 2017). Einige Studien zeigen, dass ein niedrigerer sozioökonomischer Status zur Hitzeanfälligkeit beitragen kann (Campbell et al. 2018; Li et al. 2015). Die vulnerablen Versicherten leben verstärkt in Gebieten mit ausgeprägter Altersarmut. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Zugriff auf präventive Versorgungsmaßnahmen oder deren Inanspruchnahme nicht einkommensunabhängig ist. Weniger ersichtlich erscheint die positive Korrelation mit der Hausärztedichte. Da dieser Teil der Analyse keine Kausalinterpretation zulässt, müssen die Wohnortseigenschaften in keinem direkten Zusammenhang mit der Vulnerabilität der Versicherten stehen. Sie können dennoch als Indikatoren für Gebiete mit weniger bzw. mehr vulnerablen Versicherten dienen.

Die Analyse zeigt auch, dass vulnerable Versicherte häufiger an Orten leben, die unter derzeitigen Klimabedingungen weniger von Hitze betroffen sind. Projektionen zeigen für die Zukunft jedoch eine deutlich stärkere Hitzeexposition für viele dieser Orte mit besonders anfälliger Bevölkerung. Daher könnte ein ungebremseter Temperaturanstieg bis 2100 zu einem starken Anstieg der hitzebedingten Hospitalisierung führen. Klimapolitische Maßnahmen in den nächsten Jahren werden ausschlaggebend dafür sein, wie viel größer die Hitzelast sein wird, mit der nicht nur kommende Generationen, sondern auch ein großer Teil der heute lebenden Generation im Alter konfrontiert sein wird.

Eine exakte Einordnung des mittleren Hitzeeffektes (39,79 zusätzliche Einweisungen je Million Versicherte und Hitzetag) in die vorhandene epidemiologische und gesundheitsökonomische Literatur ist aufgrund von divergierenden Definitionen von Hitzeereignissen als auch der Betrachtung verschiedener abhängiger Morbiditätsvariablen nicht möglich. Der Effekt liegt jedoch im Spektrum der geschätzten hitzebedingten Hospitalisierungsraten ähnlicher Studien. In ihrer Analyse der über 65-jährigen Versicherten in den USA identifizieren Bobb et al. (2014) statistisch signifikante Effekte für fünf von 214 Diagnosen, die sich auf eine hitzebedingte Hospitalisierungsrate von etwa 12 Einweisungen je Million Versicherte und Hitzewellen-Tag aufsummieren. Karlsson und Ziebarth (2018) erhalten für Deutschland etwas größere Effekte. Für die Altersgruppe 65–75 liegen diese bei fast 70, für die Altersgruppe 75+ zwischen 90 und 100 zusätzlichen Einweisungen je Million Menschen.

Während die absoluten mittleren Hitzeeffekte relativ klein sind, können die Gesundheitslasten bei Hitzewellen mit anhaltend hohen Temperaturen am Tag und in der Nacht deutlich höher ausfallen (Bobb et al. 2014). Zudem ist davon auszugehen, dass die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Temperatur und Morbidität bei Temperaturen über und unter 30°C nicht konstant ist und dass durch den Fokus auf kurzfristige Hitzeeffekte Fälle, die erst in den Folgetagen auftreten, nicht erfasst werden (Hsiang 2016; Li et al. 2015; Deschênes u. Greenstone 2011). Diese Aspekte wurden hier nicht untersucht, könnten jedoch Gegenstand weitergehender Analysen sein. Zudem wird durch die Betrachtung von Krankenhauseinweisungen nur ein Bruchteil der insgesamt anfallenden Hitzeschäden in Deutschland erfasst. Eine Analyse weiterer Bevölkerungsgruppen und anderer Versorgungsbereiche wäre aufschlussreich, um die Gesamtkosten durch Hitze im deutschen Gesundheitssystem abschätzen zu können.

Literatur

- Bobb JF, Obermeyer Z, Wang Y, Dominici F (2014). Cause-specific risk of hospital admission related to extreme heat in older adults. *JAMA* 312(24), 2659–2667.
- Campbell S, Remenyi TA, White CJ, Johnston FH (2018). Heatwave and health impact research: a global review. *Health Place* 53, 210–218.
- Chernozhukov V, Demirer M, Duflo E, Fernandez-Val I (2018). Generic machine learning inference on heterogeneous treatment effects in randomized experiments. *National Bureau of Economic Research* 24678.
- Deryugina T, Heutel G, Miller NH, Molitor D, Reif J (2019). The mortality and medical costs of air pollution: Evidence from changes in wind direction. *American Economic Review* 109(12), 4178–4219.
- Deschênes O, Greenstone M (2011). Climate change, mortality, and adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the US. *American Economic Journal: Applied Economics* 3(4), 152–85.
- Destatis (2017). Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern (einschl. Sterbe- und Stundenfälle) – Fachserie 12 Reihe 6.2.1 – 2016 (letzte Ausgabe – berichtsweise eingestellt). URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/diagnosedaten-krankenhaus-2120621167004.html> (abgerufen am 16.03.2021)
- DWD (2018). Deutschlandwetter im Jahr 2018. In: Pressemitteilungen des Deutschen Wetterdienstes. URL: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschlandwetter_jahr2018_news.html (abgerufen am 16.03.2021)
- Easterling CS, Robbins E (2008). Dementia and dysphagia. *Geriatr Nurs* 29(4), 275–285.
- Hausfather Z (2018). Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change. URL: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change> (abgerufen am 16.03.2021)
- Hsiang S (2016). Climate econometrics. *Annual Review of Resource Economics* 8, 43–75.
- ISIMIP (2020). ISIMIP3b simulation round simulation protocol – all sectors combined. URL: <https://protocol.isimip.org/protocol/ISIMIP3b/index.html#input-data> (abgerufen am 16.03.2021)
- Jagai JS, Grossman E, Navon L, Sambanis A, Dorevitch S (2017). Hospitalizations for heat-stress illness varies between rural and urban areas: an analysis of Illinois data, 1987–2014. *Environ Health* 16(1), 38.
- Karlsson M, Ziebarth NR (2018). Population health effects and health-related costs of extreme temperatures: Comprehensive evidence from Germany. *Journal of Environmental Economics and Management* 91, 93–117.
- Lange S (2019). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). *Geoscientific Model Development* 12, 3055–3070.
- Li M, Gu S, Bi P, Yang J, Liu Q (2015). Heat waves and morbidity: current knowledge and further direction—a comprehensive literature review. *Int J Environ Res Public Health* 12(5), 5256–5283.
- Mentes J (2006). Oral Hydration in Older Adults: Greater awareness is needed in preventing, recognizing, and treating dehydration. *Am J Nurs* 106(6), 40–49.
- Phung D, Thai PK, Guo Y, Morawska L, Rutherford S, Chu C (2016). Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 550, 1084–1102.
- Thomas G, Ihle P (2014). Stammdaten und Versichertenhistorien. In: Swart E, Ihle P, Gothe H, Matusiewicz D (Hrsg.) *Routinedaten im Gesundheitswesen. Handbuch Sekundärdatenanalyse: Grundlagen, Methoden und Perspektiven.* 28–37. Hans Huber, Bern.
- Thürmann PA (2017). Einsatz von Psychopharmaka bei Pflegebedürftigen. In: Jacobs K, Kuhlmeier A, Greß S, Klauber J, Schwinger A (Hrsg.) *Pflege-Report 2017. Schwerpunkt: Die Versorgung der Pflegebedürftigen.* 119–151. Schattauer, Stuttgart.
- Van Donkelaar A, Martin RV, Li C, Burnett RT (2019). Regional Estimates of Chemical Composition of Fine Particulate Matter using a Combined Geoscience-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors. *Environmental Science & Technology* 53(5), 2595–2611.
- Umweltbundesamt (2020). Kartographische Darstellung der flächenhaften Immissionsbelastung in Deutschland durch Kombination von Messung und Rechnung. Stand: 19. März 2020.
- Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Beagley J, Belesova K, ..., Costello A (2020). The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *Lancet.*



Hannah Klauber

Seit Beendigung ihres Studiums der Volkswirtschaftslehre an der Humboldt-Universität zu Berlin forscht sie als Doktorandin am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC). Im Rahmen ihrer Dissertation, die durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert wird, beschäftigt sie sich schwerpunktmäßig mit den Gesundheitsfolgen von Umwelteinflüssen.



Dr. Nicolas Koch

Der Umweltökonom leitet das Policy Evaluation Lab am Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC). Seine Forschung nutzt statistische Methoden der Ökonomie, um die Politikgestaltung bei drängenden umwelt- und klimapolitischen Herausforderungen evidenzbasiert zu unterstützen. Nach seinem Studium der Volkswirtschaftslehre promovierte er im Jahr 2013 an der Universität Hamburg.

6 Hitzewellen: neue Herausforderungen für die medizinische Versorgung von älteren Menschen

Clemens Becker, Jochen Klenk, Julia Frankenhauser-Mannuß, Ulrich Lindemann und Kilian Rapp

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit. DOI 10.32745/9783954666270-6, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Die zunehmende Anzahl an Hitzewellen in den letzten Jahren mit mehreren 10.000 Toten allein in Deutschland stellt eine erhebliche Bedrohung dar. Ältere Menschen sind hier besonders betroffen. Trotz Vorliegen guter Hitze-Aktionspläne ist die Umsetzung dieser Pläne unzureichend, möglicherweise wegen unklarer Zuständigkeiten und Priorisierung von Maßnahmen. Die Identifikation von Hoch-Risikopersonen im Pflegeheim und bei zuhause lebenden Personen durch ein einfaches Screening-Instrument könnte für Hausärzte die Initiierung von präventiven Maßnahmen erleichtern. Die Auswertung von Routinedaten der größten deutschen Krankenkasse für die Jahre 2008–2015 in Baden-Württemberg ergab, dass die Identifikation der Hoch-Risikopersonen über die Pflegestufe möglich ist. Bei Temperaturen über 30°C zeigte sich ein erhöhtes Mortalitätsrisiko in Pflegestufe 2 und 3 im Pflegeheim sowie in Pflegestufe 3 bei zuhause lebenden Älteren. Bei personeller Knappheit im Sommer könnten Hausärzte bei der Versorgung ihrer Hoch-Risikopersonen durch die im Katastrophenschutz tätigen Hilfsorganisationen unterstützt werden. Voraussetzung dafür wäre die Information der Hausärzte durch die Pflegekassen über die Pflegestufe der Patienten zur Erstellung von Hoch-Risikolisten und die Einstufung von extremer Hitze als Katastrophenfall. Für beide Voraussetzungen fehlen bisher die gesetzlichen Grundlagen.

The increasing number of heat waves during the last years with several 10,000 deaths in Germany alone is a substantial threat, especially for older persons. Although heat-action-plans were developed, their implementation is insufficient, possibly due to unclear responsibilities and priorities. The identification of high-risk persons in nursing homes and in community-dwellers by a simple screening tool could help general practitioners to initiate preventive measures. Analyses of routine data of the greatest German health insurance company for the years 2008–2015 in Baden-Württemberg showed that the identification of high-risk persons is possible using care levels. An increased mortality risk at temperatures of 30°C and higher was documented for care levels 2 and 3 in nursing homes and for care level 3 for community-dwelling older persons. In the event of staff shortages in summer, general practitioners could be supported in the care of their high-risk patients by the aid organizations acting in the disaster control. This would require information of the general practitioners by the care insurance on the level of care of patients to create high-risk lists and the classification of extreme heat as a disaster. The legal basis for both prerequisites is still missing.

6.1 Hitzebedingte Mortalität in Deutschland

Der Klimawandel ist eine Bedrohung für die Umwelt und die natürlichen Ressourcen und damit für die Menschen in vielen Regionen der Erde. Eine Folge davon ist die zunehmende Zahl an Hitzewellen während der Sommermonate. So traten bei Betrachtung der letzten 70 Jahre die meisten und in ihren Auswirkungen schwerwiegendsten Hitzewellen innerhalb der letzten 20 Jahre auf (Russo et al. 2015). Seit 2003 wurden alle 3–4 Jahre länger andauernde Hitzewellen beobachtet. In ganz Europa verstarben allein 2003 über 70.000 Menschen an den Folgen extremer Hitze (Robine et al. 2008), davon etwa 7.600 in Deutschland (An der Heiden et al. 2019a). Von der Übersterblichkeit betroffen waren überwiegend alte gebrechliche Menschen. Weitere Hitzeperioden in Deutschland in den Jahren 2015 und 2018 haben dem Thema zudem Platz und Aufmerksamkeit verschafft. Im Bundesgesundheitsblatt beispielsweise wurde das Thema 2019 in einem Schwerpunktheft aufgegriffen. Obwohl sich während der letzten Dekade leicht reduzierte Mortalitätsraten andeuten (An der Heiden et al. 2020; Todd u. Valleron 2015), zeigt sich, dass es bislang nicht gelungen ist, eine durchgängige wirksame Strategie zu entwickeln und vermeidbare Todesfälle, vor allem bei älteren Menschen, zu reduzieren. Obwohl für Deutschland insgesamt bisher (Februar 2021) noch keine Zahlen veröffentlicht wurden, gehen Schätzungen auf der Grundlage der Zahlen einzelner Bundesländer (An der Heiden 2019b) von etwa 8.000 Hitzetoten im Jahr 2018 aus. Dies wäre mehr als im Katastrophenjahr 2003 und mehr als doppelt so viel wie die Anzahl der Verkehrstoten im gleichen Jahr (Statistisches Bundesamt 2019). Das Fazit der meisten Experten lautet, dass zwar sehr gute Hitzeaktionspläne entwickelt wurden (Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels 2017), ein angemessenes Warnsystem (Deutscher Wetterdienst) vorliegt und ein Monitoring der Landesgesundheitsämter

durchgeführt wird, dass aber die Umsetzung der Maßnahmen bei den Akteuren vor Ort noch unzureichend erfolgt (Capellaro u. Sturm 2015). Zu den Akteuren und Institutionen zählen an erster Stelle Ärzte, Krankenhäuser, Pflegedienste, Pflegeheime, Freiwilligendienste und (pflegende) Angehörige. Dabei ist unklar, welche Maßnahmen und Zuständigkeiten wie getriggert werden sollen. Problematisch ist auch, dass Hitzeextreme nicht selten zur Haupturlaubszeit auftreten, wenn die Personaldecke der Akteure im Gesundheitswesen reduziert ist.

Aus internationalen Studien sind Risikofaktoren für eine erhöhte Vulnerabilität von Risikopersonen bei Hitzewellen bekannt. Die wichtigsten Faktoren sind (Herrmann et al. 2019):

- höheres Alter (überwiegend 75+ Jahre)
- alleinlebende Personen
- höhere Wohnetagen (aufgrund höherer Hitzebelastung)
- niedriger Sozialstatus
- Immobilität

Folgende Krankheiten und Medikamente sind zudem mit einem erhöhten Risiko bei Hitzebelastung verbunden (Herrmann et al. 2019):

- Demenz und Depression
- Koronare Herzkrankheit und Herzinsuffizienz
- pulmonale Erkrankungen wie die COPD
- chronische Nierenkrankheiten
- Suchterkrankungen
- Einnahme von Sedativa
- transdermal und subkutan verabreichte Arzneimittel (wie opiothaltige Schmerzmittel oder Insulin)

Weder für den ambulanten noch für den stationären Bereich stehen bisher Screening-Instrumente zur Erfassung gefährdeter Personen zur Verfügung. IT-basierte Funktionen einer Praxissoftware könnten hier hilfreich sein. Es ist daher wichtig, nach pragmatischen Lösungsansätzen zu suchen. Ein Ansatz ist die Identifikation der Risikopersonen über das Setting und/oder die Pflegestufe bzw. den Pflegegrad.

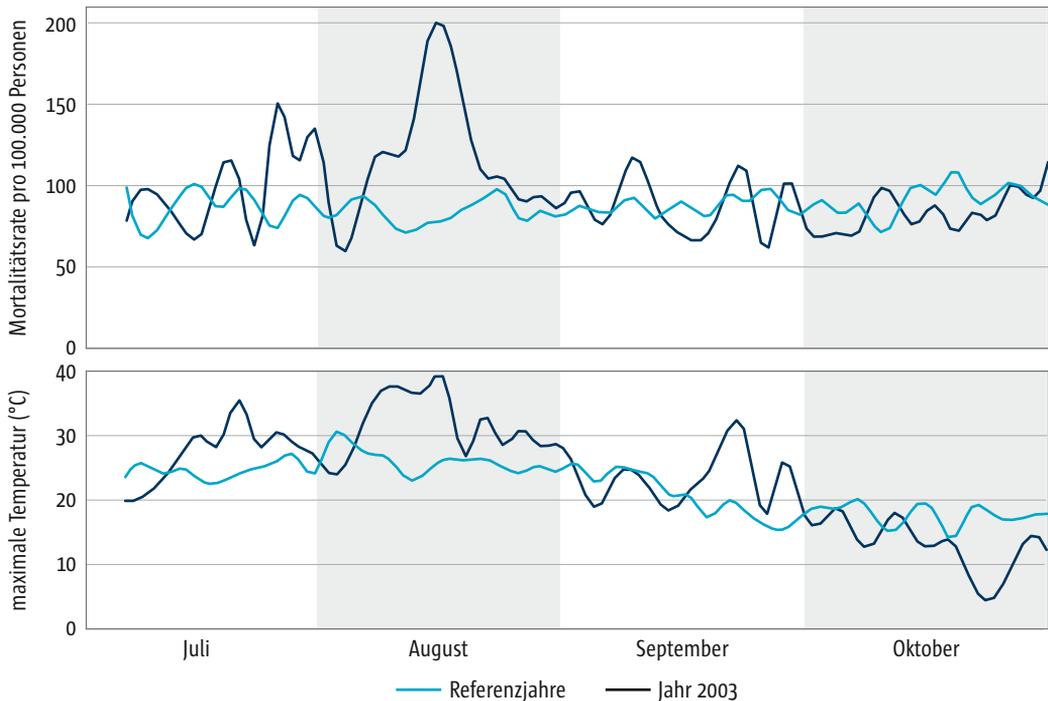


Abb. 1 Maximaltemperatur und Mortalität im Jahr 2003 und den Referenzjahren 2001, 2002, 2004 und 2005 von Juli bis Oktober bei Pflegeheimbewohnern in Baden-Württemberg (nach Klenk et al. 2010)

6.2 Analysen mit Routinedaten der AOK Baden-Württemberg

Vor 10 Jahren konnte anhand von Daten der AOK-Versicherten in Baden-Württemberg gezeigt werden, dass die hitzebedingte Mortalität bei Pflegeheimbewohnern im Jahr 2003 im Vergleich zu den Jahren davor und danach sehr hoch war (Klenk et al. 2010). In Abbildung 1 ist die erhebliche Übersterblichkeit während der Hitzewelle in den ersten zwei Augustwochen des Jahres 2003 gut zu erkennen. Dabei zeigte sich, dass nicht nur die absolute Sterblichkeit, sondern auch die hitzebedingte Übersterblichkeit mit zunehmender Gebrechlichkeit, d. h. ansteigender Pflegestufe, zunahm.

Wenn Pflegebedürftigkeit über das Merkmal Pflegestufe bzw. Pflegegrad definiert wird, dann lebt der überwiegende Teil pflegebedürftiger Menschen in Deutschland zuhause. Viele

dieser Personen verfügen anders als Pflegeheimbewohner während Hitzewellen über keine oder über eine zeitlich limitierte personelle Unterstützung. Es stellte sich daher die Frage, inwieweit diese spezifische Personengruppe besonders vulnerabel gegenüber Hitzewellen ist. Zu dieser Frage lagen bisher keine Studien vor.

In einem vom Bundesministerium für Gesundheit geförderten Projekt (BMG 415-43164-1/687; Becker et al. 2019; Herrmann et al. 2019) wurde daher untersucht, a) ob Pflegestufen als Surrogat-Marker für eine besonders hohe Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastung geeignet sein könnten, und b) ob pflegebedürftige Menschen, die zuhause leben, ein besonderes Risiko haben. Ziel war es, mit den Ergebnissen Pflegedienste, Pflegeheime und niedergelassene Ärzte darin zu unterstützen, besonders hitzegefährdete Personen zu erkennen. Für diese Untersuchung wurden Routinedaten der AOK

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

Tab. 1 Alters- und geschlechtsadjustierte tägliche Mortalität/100.000 Personentage bei rund 390.000 Versicherten über 65 Jahren der AOK Baden-Württemberg, die mit Pflegestufen 1 bis 3 entweder im Pflegeheim oder zu Hause leben, bezogen auf die maximale Tagestemperatur, 2008-2015

Maximale Temperatur	Pflegeheim			zuhause lebend		
	Pflegestufe			Pflegestufe		
	1	2	3	1	2	3
0°C	82,35 (79,24–85,58)	155,27 (150,98–159,68)	219,01 (211,64–226,64)	30,67 (29,45–31,94)	99,15 (96,08–102,33)	257,31 (248,80–266,11)
5°C	82,26 (80,29–84,27)	147,99 (145,16–150,87)	212,07 (207,50–216,73)	30,10 (29,26–30,97)	93,80 (91,67–95,99)	252,63 (247,37–258,01)
10°C	78,37 (76,64–80,13)	143,88 (141,43–146,38)	204,05 (200,03–208,16)	28,66 (27,94–29,40)	91,48 (89,63–93,36)	243,61 (238,97–248,35)
15°C	71,83 (70,23–73,48)	132,98 (130,64–135,36)	193,31 (189,47–197,22)	25,71 (25,03–26,41)	83,46 (81,67–85,30)	236,50 (232,00–241,08)
20°C	67,94 (66,44–69,47)	126,69 (124,53–128,89)	184,26 (180,69–187,91)	24,62 (23,99–25,27)	81,92 (80,22–83,66)	230,24 (225,98–234,59)
25°C	68,13 (66,36–69,95)	128,08 (125,52–130,70)	184,80 (180,58–189,11)	25,32 (24,55–26,10)	81,59 (79,56–83,66)	232,24 (227,16–237,43)
30°C	70,61 (67,82–73,52)	138,38 (134,31–142,57)	199,71 (192,99–206,67)	26,37 (25,17–27,61)	86,79 (83,51–90,20)	245,98 (237,98–254,24)
35°C	73,90 (67,83–80,51)	151,46 (141,89–161,67)	221,61 (206,20–238,17)	24,69 (22,30–27,34)	81,09 (74,58–88,18)	263,94 (246,21–282,96)

Baden-Württemberg der Jahre 2008–2015 genutzt. In Baden-Württemberg mit einer Bevölkerung von 10,4 Millionen Menschen sind etwa 20% der Bevölkerung 65 Jahre und älter. Die AOK hat in Baden-Württemberg etwa 4,5 Millionen Versicherte. Im Beobachtungszeitraum von 7 Jahren wurden Daten von fast 390.000 Personen im Alter von über 65 Jahren mit mehr als 2 Millionen Personenjahren ausgewertet. Frauen waren in beiden untersuchten Personengruppen deutlich häufiger vertreten als Männer (Pflegeheim 76%; zuhause lebend 67%). Untersucht wurde der Einfluss der Außentemperatur (Deutscher Wetterdienst, WESTE) auf die tägliche Sterblichkeit in Abhängigkeit vom Setting (zuhause lebend oder im Pflegeheim) und der Pflegestufe. Die Mortalitätsraten mit 95% Konfidenzintervallen wurden mithilfe eines Poisson-Modells mit Thin Plate Splines geschätzt,

um auch nicht-lineare Zusammenhänge modellieren zu können. Die Analysen wurden für Alter und Geschlecht adjustiert, um eine mögliche Verzerrung durch diese Faktoren auf die eigentliche Fragestellung zu eliminieren.

Tabelle 1 zeigt die Mortalität in Abhängigkeit von der maximalen Tagestemperatur aufgeteilt nach Setting (zuhause lebend oder im Pflegeheim) und Pflegestufe. Unabhängig von der Temperatur fällt grundsätzlich auf, dass sich die Mortalität bei gleicher Pflegestufe zwischen zuhause lebenden und institutionalisierten Personen deutlich unterscheidet. Während bei Pflegestufe 1 und 2 im Pflegeheim höhere Mortalitätsraten beobachtet wurden, lagen bei Pflegestufe 3 die Mortalitätsraten bei zuhause lebenden Personen höher. Der Grund für die deutlichen Mortalitätsdifferenzen bei gleicher Pflegestufe kann aus den vorliegenden Daten

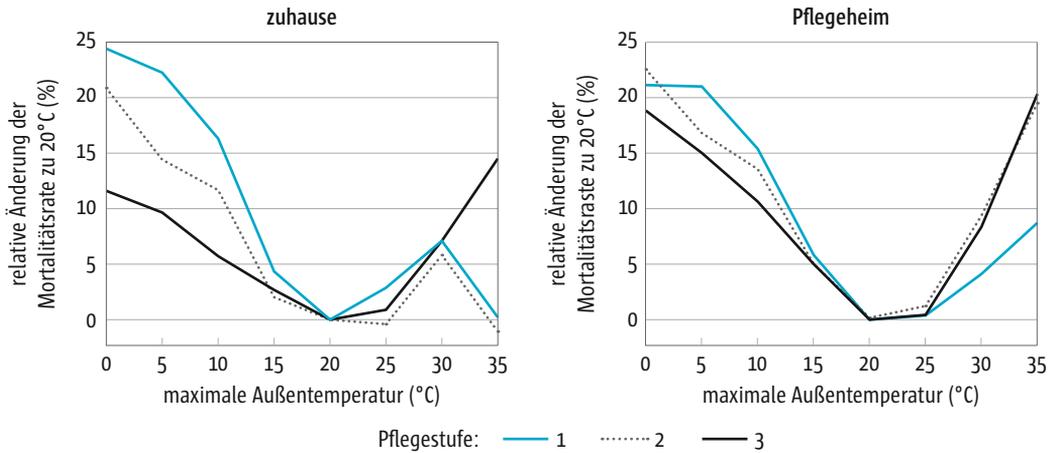


Abb. 2 Relative Veränderung der Mortalität in Abhängigkeit von der täglichen Maximaltemperatur im Vergleich zu einer Referenztemperatur von 20°C bei zuhause (links) oder im Pflegeheim (rechts) lebenden Versicherten der AOK Baden-Württemberg mit Pflegestufe 1, 2 oder 3 in den Jahren 2008–2015

nicht analysiert werden, dürfte aber am ehesten in einem unterschiedlichen Morbiditätsspektrum begründet liegen. In allen Personen­gruppen findet sich aber eine minimale Mortalität bei einer maximalen Außentemperatur von etwa 20°C. Deshalb wurde diese Temperaturkategorie als Referenzwert genutzt, um die relative Veränderung der Mortalität in Abhängigkeit von der täglichen Maximaltemperatur bei zuhause oder im Pflegeheim lebenden Versicherten mit Pflegestufe 1, 2 oder 3 zu analysieren und in Abbildung 2 darzustellen. Hier findet sich ein relevanter Anstieg der Mortalität in allen Gruppen erst in der 30°C-Temperaturkategorie. Eine erhebliche Zunahme der relativen Mortalität findet sich in der höchsten 35°C-Temperaturkategorie v. a. in Pflegestufe 2 und 3 im Pflegeheim sowie in Pflegestufe 3 bei zuhause lebenden Personen, während dies für Pflegestufe 1 und 2 bei zuhause lebenden Personen nicht zu beobachten war.

Die Ursache der ansteigenden Mortalität bei niedrigen Temperaturen ist anhand unserer Datenbasis nicht zu beantworten und deshalb spekulativ. Es liegt aber nahe, dass dies u. a. auf Infektionskrankheiten in den Wintermonaten zurückgeführt werden kann (s. Kap. 3).

6.3 Maßnahmen und Ausblick

Die Vulnerabilität gegenüber Hitzewellen ist meist Folge einer eingeschränkten körperlichen Funktion und ungünstiger Kontextfaktoren des räumlichen und sozialen Umfelds (Lindemann et al. 2017; Lindemann et al. 2018). Im Wissen, dass es auch berufliche Risikogruppen (Landwirtschaft, Soldaten) und Säuglinge/Kleinkinder gibt, die von Hitzewellen nachteilig betroffen sind, ist es offenkundig, dass chronisch kranke ältere Menschen die mit Abstand größte Risikogruppe sind. Die mit Daten der AOK Baden-Württemberg gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die Identifikation dieser Personen über die Pflegestufe einfach und ziel­führend ist. Man kann davon ausgehen, dass sich dies auch auf die neue Kategorisierung nach Pflegegraden übertragen lässt. Insgesamt bestätigen die Analysen frühere Untersuchungen aus Frankreich, die sich auf den Hitze-Sommer 2003 beziehen (Belmin et al. 2007). Auch hier war das Mortalitätsrisiko mit dem Grad der Abhängigkeit assoziiert.

In den letzten Jahren wurde die Wissensbasis für Ärzte, Pflege und medizinische Fachangestellte zu Maßnahmen bei extremer Hitze

deutlich verbessert. Es existieren Blaupausen für die Schulung und Weiterbildung von Ärzten und medizinischen Fachangestellten (Klinikum Uni-München) und für Pflegeheime (Krampen 2020). Die Umsetzung solcher Maßnahmen bei Hausärzten wurde analysiert. Dabei wurden Möglichkeiten zur Verbesserung der Umsetzung aufgezeigt (Herrmann u. Sauerborn 2018).

Wie oben dargestellt, sind Personen mit Pflegebedarf und chronischen Erkrankungen die Gruppe mit der höchsten Gefährdung. Die wichtigsten Akteure zur Vermeidung von hitzebedingten Risiken dieser Personengruppen sind Hausärzte, Pflegedienste, Angehörige, ehrenamtliche Helfer, die Nachbarschaft und Mitarbeiter von Pflegeheimen.

Aufgrund ihres regelmäßigen Kontakts zu vulnerablen Personengruppen und deren Angehörigen und als Vertrauensperson im Gesundheitssektor nehmen Hausärzte hier eine zentrale Rolle ein. Zur Prävention hitzebedingter Risiken wurden vier hausärztliche Handlungsfelder identifiziert (Herrmann et al. 2019):

1. Kommunikation von Risiken und Präventionsmaßnahmen mit den Betroffenen und deren Familien (Konsultation und Broschüren)
2. Anpassung der Medikation (z.B. vorsommerlicher Medikamenten-Review mit Anpassung der Medikamente im Falle einer Hitzewelle)
3. Anpassung von Praxisabläufen (z.B. Kühlung der Praxisräume, Angebot von Getränken)
4. proaktive Kontaktaufnahme (z.B. Hausbesuche und Initiierung des Netzwerks der Helfer)

Für einen strukturierten Handlungsansatz fehlen allerdings bisher u.a. entsprechende Abrechnungsziffern. Ein solcher und wichtiger Ansatz ist das Erstellen von Listen der Risikopersonen, z.B. definiert über den Pflegegrad, in der elektronischen Gesundheitsakte. Dies ist zur Bündelung der personellen Ressourcen

wichtig. Dazu wäre es aufgrund unserer Ergebnisse als erstem Schritt hilfreich, wenn den Hausärzten die Information über eine mögliche Pflegestufen- bzw. seit 2017 Pflegegrad-Einstufung zugänglich wäre. Hierfür muss allerdings erst eine gesetzliche Grundlage für den Datenaustausch geschaffen werden. Dies ist auch für ePA- und eGK-Ansätze denkbar. Die Liste wäre möglicherweise auch in anderen Situationen mit deutlich eingegrenzter Lokalisierung wie Überschwemmungen, Stromausfall etc. eine Option. Auch hier ist der Wohnort potenziell hilfsbedürftiger Personen den Einsatz Helfern nicht systematisch bekannt. Mithilfe einer Risikoliste würde dem Hausarzt die Planung erleichtert, wer ärztliche Hilfe oder die Unterstützung durch medizinische Fachangestellte benötigt, oder wem schon dadurch geholfen ist, dass das soziale Netzwerk aktiviert wird.

Bei der ggf. erforderlichen Anpassung der Medikation sind die Reduktion von Diuretika, die Dosisanpassung der Blutdruckmedikamente, das Pausieren und Reduzieren von Anticholinergika (Bsp. zur Therapie einer Dranginkontinenz) und die Anwendung des Bundesmedikationsplans mit Anpassungsvorgaben zu prüfen (s. Kap. 4). Im Kontext der Medikation wären eine Verbesserung der Beipackzettel mit Hitze-relevanten Hinweisen (BfARM) und die Etablierung einer funktionierenden Beratung durch die Apotheker wünschenswert. Einige Arzneimittelnebenwirkungen sind weitgehend unbekannt wie das Risiko von Hypoglykämien durch verstärkte Hautdurchblutung bei subkutanen Insulingaben oder toxische Plasmaspiegel durch transdermale Schmerzpflaster (z.B. Fentanyl oder Buprenorphin).

Die Realität in der Versorgung sieht allerdings nach wie vor anders aus. Nur einzelne Arztpraxen verfügen über ein systematisches Krisenmanagement. Es gibt nur in Ausnahmefällen einen Medikations-Review im Frühsommer. Eine proaktive Kontaktaufnahme bei Hochstrisikopersonen durch den Arzt im Falle einer Hitzewelle findet bei personeller Knappheit oft nicht statt. Ebenfalls findet eine pro-

aktive Beratung in Apotheken nur in Ausnahmefällen statt. Die ambulanten Pflegedienste berichten zudem über mangelnde Möglichkeiten der Kommunikation mit niedergelassenen Ärzten. Für subkutane Infusionen als eine Therapieoption bei mangelnder Flüssigkeitsaufnahme ist meist keine Behandlungsplanung vorhanden. Es bedarf deshalb verschiedener Anpassungen, um Hitzeaktionspläne für ältere Menschen in der Versorgung wirksam zu implementieren.

Es ist offenkundig, dass die Arbeitskapazitäten der Hausärzte begrenzt sind und Zeit für Screening, Assessment und Beratung kostbar ist. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass mit den begrenzten Ressourcen die besonders gefährdeten Personen identifiziert und adressiert werden. Es wurden deshalb Strategien vorgeschlagen, wie bei Personalknappheit die in Deutschland gut organisierten Hilfsorganisationen mit ihren hauptamtlichen Akteuren in die ambulante Versorgung eingebunden werden könnten (Becker et al. 2019). Dazu müssten Hitzeextreme entsprechend dem von Deutschland ratifizierten Sendai UN-Rahmenwerk (Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030) als Katastrophenfall behandelt und bei extremer Hitze z. B. durch das Gesundheitsamt der Hitzezustand ausgerufen werden, um Hilfsorganisationen in die Versorgung besonders gefährdeter Personen mit einzubeziehen. Eine Überprüfung solcher Konzepte und eine nachfolgend regulatorische Umsetzung auf Bundes-, Landes- oder kommunaler Ebene werden empfohlen (Mücke u. Litvinovitch 2020), sind allerdings bisher noch nicht erfolgt.

Die wichtigsten Maßnahmen wurden für die Fachöffentlichkeit in einem CME-Artikel 2019 zusammengefasst und inzwischen häufig abgerufen (Herrmann et al. 2019). Es wäre zu wünschen, dass die Fachgesellschaft der Allgemeinmedizin sich dem Thema ebenfalls verstärkt zuwendet.

Literatur

- An der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A (2019a) [Estimation of heat-related deaths in Germany between 2001 and 2015]. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 62(5), 571–579
- An der Heiden M, Buchholz U, Uphoff H (2019b) Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle und Betrachtung der Exzess-Mortalität; Berlin und Hessen, 2018. Epid Bull 23, 193–197
- An der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A (2020) Hitzebedingte Mortalität – Eine Analyse der Auswirkungen von Hitzewellen in Deutschland von 1992–2017. Deutsches Ärzteblatt 117, 603–609
- Becker C, Herrmann A, Haefeli WE, Rapp K., Lindemann U (2019) [New approaches in preventing health risks and excess mortality of older persons during extreme heat]. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 62(5), 565–570
- Belmin J, Auffray JC, Berbezier C, Boirin P, Mercier S, de Reviers B, Golmard JL (2007) Level of dependency: a simple marker associated with mortality during the 2003 heatwave among French dependent elderly people living in the community or in institutions. Age Ageing 36(3), 298–303
- Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 60(6), 662–672
- Capellaro M, Sturm D (2015) Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt_und_gesundheit_03_2015_evaluation_von_informationssystemen_band_1_0.pdf (abgerufen am 18.02.2021)
- Deutscher Wetterdienst. Wetter und Klima – Deutscher Wetterdienst – DWD-Apps. URL: https://www.dwd.de/DE/service/dwd-apps/dwdapps_node.html (abgerufen am 18.02.2021)
- Deutscher Wetterdienst. Wetterdaten und -Statistiken Express – WESTE. URL: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/klinfo_systeme/weste/weste_node.html (abgerufen am 18.02.2021)
- Herrmann A, Sauerborn R (2018) General practitioners' perceptions of heat health impacts on the elderly in the face of climate change – A qualitative study in Baden-Württemberg, Germany. Int J Environ Res Public Health, 15(5), 843
- Herrmann A, Haefeli WE, Lindemann U, Rapp K, Roigk P, Becker C (2019) [Epidemiology and prevention of heat-related adverse health effects on elderly people]. Zeitschr Gerontol Geriatr 52(5), 487–502
- Klenk J, Becker C, Rapp K (2010) Heat-related mortality in residents of nursing homes. Age Ageing 39(2), 245–252
- Krampen R (2020) Klimaextreme – Handlungsempfehlungen für Pflegeheime und deren ordnungsrechtliche Überprüfung am Beispiel Hessen. Public Health Forum 28(1), 37–39

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

Klinikum Uni-München. Materialien Hitze & Gesundheit. URL: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Bildungsmodule-Aerzte/de/bildungsmodule-mfa/Materialien-Hitze-Gesundheit/index.html> (abgerufen am 18.02.2021)

Lindemann U, Stotz A, Beyer N, Oksa J, Skelton DA, Becker C, Rapp K, Klenk J (2017) Effect of Indoor Temperature on Physical Performance in Older Adults during Days with Normal Temperature and Heat Waves. *Int J Environ Res Public Health* 14(2), 186

Lindemann U, Skelton DA, Oksa J, Beyer N, Rapp K, Becker C, Klenk J (2018) Social participation and heat-related behavior in older adults during heat waves and on other days. *Z Gerontol Geriatr* 51(5), 543–549

Mücke HG, Litvinovitch JM (2020) Heat Extremes, Public Health Impacts, and Adaptation Policy in Germany. *Int J Environ Res Public Health* 17(21), E7862

Robine JM, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331(2), 171–178

Russo S, Sillmann J, Fischer EM (2015) Top ten European heat-waves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters* 10(12), 124003

Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. URL: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> (abgerufen am 18.02.2021)

Statistisches Bundesamt (2019) Verkehrsunfälle. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/_inhalt.html (abgerufen am 18.02.2021)

Todd N, Valleron AJ (2015) Space-Time Covariation of Mortality with Temperature: A Systematic Study of Deaths in France, 1968–2009. *Environmental Health Perspectives* 123(7), 659–664



Prof. Dr. Clemens Becker

Chefarzt der Abteilung Geriatrie und Geriatrische Rehabilitation am Robert-Bosch-Krankenhaus Stuttgart. Er ist Professor für Gesundheits- und Bewegungswissenschaften an der Universität Stuttgart und unterrichtet Geriatrie an der Universität Tübingen.



Prof. Dr. Jochen Klenk, MPH

Professor für Gesundheitswissenschaften an der IB Hochschule für Gesundheit und Soziales sowie Projekt- und Arbeitsgruppenleiter am Institut für Epidemiologie und Medizinische Biometrie der Universität Ulm und an der Klinik für Geriatrische Rehabilitation im Robert-Bosch-Krankenhaus Stuttgart. Nach seinem Abschluss als Diplomingenieur für Medizintechnik an der Fachhochschule Ulm im Jahr 2000 sowie dem Masterabschluss in Public Health an der Universität in Ulm 2004 promovierte er 2009 in Humanbiologie an der Universität Ulm und habilitierte dort 2017. Seine Forschungsschwerpunkte sind erfolgreiches Altern, sensorbasierte Messung körperlicher Aktivität und Funktion sowie die Modellierung von Sturzrisikofaktoren.



Dr. Julia Frankenhauser-Mannuß

Studium der Soziologie mit Schwerpunkt Medizinsoziologie an der Universität Heidelberg. Seit 2009 ist sie bei der AOK Baden-Württemberg in unterschiedlichen Bereichen tätig und leitet dort aktuell Projekte aus dem Bereich der Rehabilitations- und Pflegeforschung. Berufsbegleitend promovierte sie von 2011–2015 am Universitätsklinikum Heidelberg in der Abteilung Allgemeinmedizin und Versorgungsforschung.



Dr. Ulrich Lindemann

Seit 1989 Diplom-Sportlehrer (DSHS Köln). Nach Tätigkeit als Trainer und Sporttherapeut promovierte er 2004 an der Universität Ulm und arbeitet seitdem als wissenschaftlicher Angestellter in der Klinik für Geriatrische Rehabilitation am Robert-Bosch-Krankenhaus in Stuttgart. Seine Forschungsschwerpunkte sind das Training und die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Aktivität älterer Menschen sowie modifizierende Faktoren.



Prof. Dr. Kilian Rapp, MPH

Studium der Humanmedizin in Tübingen und Berlin. Facharztausbildung für Innere Medizin am Robert-Bosch-Krankenhaus Stuttgart und Zusatzbezeichnung Geriatrie. Aufbaustudiengang Public Health in Ulm. Wissenschaftliche Ausbildung am Institut für Epidemiologie und Medizinische Biometrie der Universität Ulm. Seit 2010 Oberarzt und stellvertretender Forschungsleiter in der Klinik für Geriatrische Rehabilitation des Robert-Bosch-Krankenhauses Stuttgart. Apl-Professur an der Universität Ulm.

7 Hitzebelastungen im Arbeitssetting: die Sicht der Arbeitsmedizin

Julia Schoierer, Hanna Mertes, Katharina Deering,
Stephan Böse-O'Reilly und Caroline Quartucci

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-7, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Mit fortschreitendem Klimawandel werden auch in Deutschland mehr Hitzeereignisse auftreten. Diese zunehmende Hitzebelastung kann (schwerwiegende) gesundheitliche Beschwerden verursachen, insbesondere bei vulnerablen Personengruppen. Zu diesen gehören auch Beschäftigte, die sogenannte Hitzetätigkeiten ausführen und/oder aufgrund ihrer Tätigkeit im Freien der Hitze direkt ausgesetzt sind. Dabei wird deren gesundheitliches Risiko durch weitere Cofaktoren wie z.B. die Art der Tätigkeit, der Berufskleidung und auch durch individuelle Faktoren wie Gesundheitszustand und Physiologie bestimmt.

Hitzebedingte Leistungsverluste und Arbeitsunfähigkeiten haben dementsprechend auch betriebs- und volkswirtschaftliche Konsequenzen. Im Sinne des Arbeits- und vorbeugenden Gesundheitsschutzes ist die Gesundheit der Beschäftigten vor Hitze zu schützen; hierfür sind je nach Tätigkeit und Arbeitsstätte verschiedene Maßnahmen umzusetzen.

As climate change progresses, more heat events will occur in Germany as well. The increasing heat stress can cause (serious) health problems, especially for vulnerable groups of people such as employees who perform so-called "heat activities" and/or are directly exposed to heat due to their

outdoor work. Their health risk is determined by other co-factors such as the type of activity, work clothing and individual factors such as health status and physiology.

Heat-related loss of performance and incapacity to work have corresponding consequences for business and the economy. In the sense of occupational and preventive health protection, the employees' health must be protected from heat stress. Therefore various measures must be implemented depending on the activity and workplace.

7.1 Gesundheitsrisiko durch Hitze

In Deutschland wird es heißer, wie der Anstieg der mittleren Lufttemperatur zwischen 1881 und 2018 um 1,5°C zeigt. Das ist ein stärkerer Anstieg als der bisherige, weltweite Anstieg um 1,0°C (Watts et al. 2018; Bissolli et al. 2019; Masson-Delmotte et al. 2019). Das bedeutet, dass in Deutschland Hitzeereignisse, wie Hitzetage und -perioden sowie Tropennächte, zunehmen werden (Matthies-Wiesler 2019). Ein messbarer Anstieg dieser Ereignisse ist bereits jetzt zu beobachten (Masson-Delmotte et al. 2019; UBA 2019b).

Tab. 1 Darstellung der physiologischen Prozesse, die durch hohe Temperaturen in Gang gesetzt werden (Mora et al. 2017)

Organe	Mechanismus				
	Ischämie	Hitze- Zytotoxizität	Entzündungs- reaktion	disseminierte intravasale Koagulopathie*	Rhabdo- myolyse**
Gehirn	x	x	x	x	
Herz	x	x	x		
Verdauungssystem	x	x	x	x	
Niere	x	x	x	x	x
Leber	x	x	x	x	x
Lunge		x	x	x	x
Pankreas	x		x		

Ist kein x in den Feldern enthalten, sind keine entsprechenden Studien in das Review von Mora et al. (2017) eingeflossen.

*sekundäre Erkrankung, die von einer systemischen, exzessiven Aktivierung der Blutgerinnung ausgelöst wird

**Auflösung quergestreifter Muskelfasern

Extreme Hitzeereignisse stellen für den menschlichen Körper eine hohe Belastung dar (Kenny et al. 2010, 2018). Je nach persönlicher Disposition ist es möglich, dass sich bestehende Erkrankungen verschlechtern oder neue, schwerwiegende Gesundheitsprobleme entstehen (Kenny et al. 2020). Diese können auch zum Tode führen, wie Auswertungen der Morbiditäts- und Mortalitätsdaten aus Deutschland zeigen, die die Zunahme von Krankenhauseinweisungen und Sterbefällen während Hitzeereignissen belegen (Gabriel u. Endlicher 2011; Steul et al. 2018; an der Heiden et al. 2019, 2020). Dabei zeigen die Studien, dass besonders ältere bzw. hochaltrige Menschen durch Hitze gesundheitlich betroffen sind (Matthies et al. 2008; Kenny et al. 2010; Herrmann et al. 2019; Meade et al. 2020). Aber auch quer durch die Bevölkerung wird Hitze zunehmend als gesundheitliche Belastung wahrgenommen, wie eine Studie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und des Umweltbundesamtes (UBA) zeigt. Demnach fühlten sich 2012 ein knappes Drittel der Befragten von Hitzeperioden in ihrem körperlichen Wohlbefinden beeinträchtigt – 2016 waren es 50% (BMU 2013; BMU u. UBA 2017)

Weltweit sind die Forschungen zu gesundheitlichen Hitzefolgen in den letzten Jahren intensiver geworden. Damit wurden Erkenntnisse gewonnen, wie Hitze auf den menschlichen Körper wirken kann und welche Personengruppen besonders von Hitze betroffen sind. So haben zum Beispiel Mora und Kollegen in ihrer Studie „Twenty-seven ways a heat wave can kill you: Deadly heat in the era of climate change“ die Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Körper dargestellt (s. Tab. 1) (Mora et al. 2017). Sie zeigen in ihrem Review, dass hohe Temperaturen eine Reihe physiologischer Prozesse in Gang setzen können, die zu hitzebedingten gesundheitlichen Problemen oder sogar zum Tod führen können. Pathologisch betroffen sind dabei nicht nur das Herz-Kreislauf- und das Atmungssystem, sondern u.a. auch das Verdauungssystem, die Leber und die Niere. Bei Hitze besteht also ein veritables Risiko, gesundheitliche Probleme zu entwickeln, siehe hierzu auch Kenny et al. (2020).

Das Risiko für hitzebedingte Gesundheitsprobleme wird neben dem Alter durch weitere

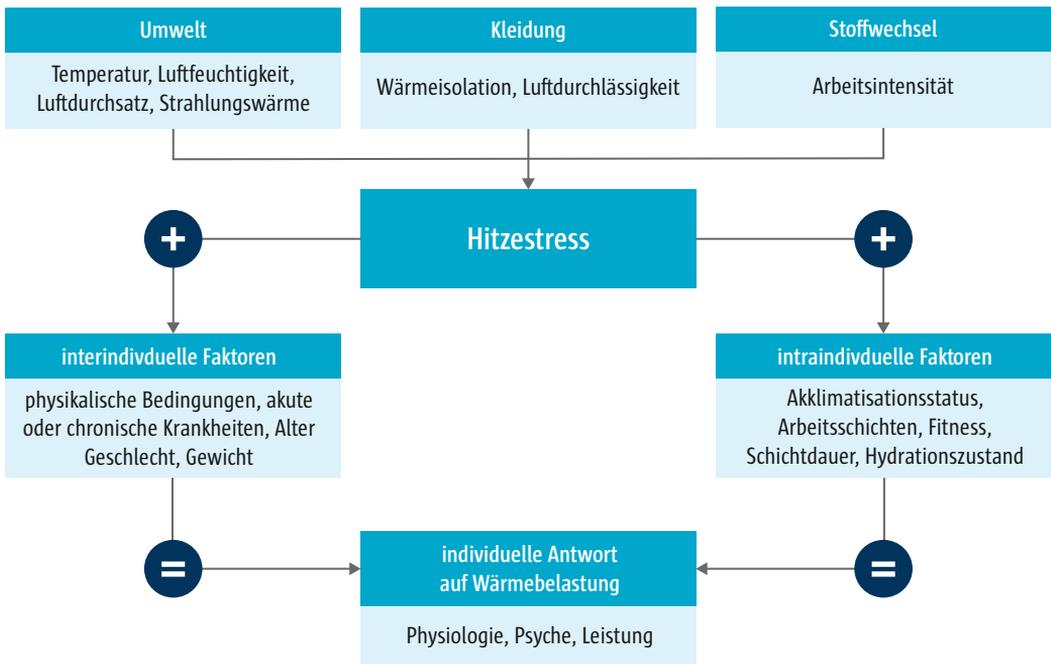


Abb. 1 Faktoren für Hitze**st**ress (modifiziert nach Kenny et al. 2020)

Faktoren erhöht, wie die individuelle Physiologie, chronische Erkrankungen, die Einnahme von Medikamenten sowie die Art der Exposition gegenüber Hitze, z.B. während der Arbeit (Kenny et al. 2010, 2020). Dabei können Berufstätige auf zwei Wegen von Hitze betroffen sein: Zum einen durch klimabedingte Hitzeereignisse, zum anderen durch ihre Tätigkeit, die durch die Gefährdungsbeurteilung als Hitze**ar**beit definiert wird und/oder deren Hitze**ex**position möglicherweise durch den Klimawandel noch verstärkt wird (Kjellstrom et al. 2016; Levi et al. 2018; Binazzi et al. 2019; Kjellstrom et al. 2019; Spector et al. 2019).

Wie hoch die Belastung durch Hitze während der Arbeit ist, hängt also zusätzlich von der Tätigkeit (Tragen von Berufskleidung, Schwere der Arbeit, Dauer und Art der Exposition) sowie von der individuellen Physiologie und Anpassungsfähigkeit des Beschäftigten ab (z.B. chronische Erkrankungen, Übergewicht, Alter, körperliche Fitness) (Jacklitsch et al. 2016; Kenny et al. 2020).

Neben den individuellen gesundheitlichen Belastungen können hitze**be**dingte Gesundheitsprobleme aufgrund der Kosten für die Gesundheitsversorgung oder der Reduzierung von Leistungsfähigkeit auch zu erheblichen wirtschaftlichen Folgen führen (Lundgren et al. 2013; Kjellstrom et al. 2016; Flouris et al. 2018; Gao et al. 2018; Spector et al. 2019). So stellen Kenny et al. (2020) in ihrem Buchbeitrag „Climate Change and Heat Exposure: Impact on Health in Occupational and General Populations“ eine umfassende Sichtweise auf den komplexen Zusammenhang von Hitze und Gesundheit für Beschäftigte, aber auch für die Allgemeinbevölkerung dar (s. Abb. 1). Anhand von Abbildung 1 lassen sich sehr gut die unterschiedlichen Quellen von Hitze**st**ress – Umweltbedingungen/Umgebung, Kleidung, durch Stoffwechselprozesse erzeugte Wärme – sowie deren beeinflussende Faktoren (inter- und intraindividuell) erkennen, deren Zusammenwirken letztlich die Reaktion auf die Hitze**be**lastung bedingt hinsichtlich



Abb. 2 Beispielhafte Informationsgrafik des europäischen Projekts Heat-Shield zur Vermeidung hitzebedingter Erkrankungen bei Beschäftigten in Europa (<https://heatshield.zonalab.it/infographics.php?lang=de>)

physiologischer, psychophysischer und leistungsbezogener Effekte. Interindividuelle Faktoren sind hierbei persönliche körperliche Faktoren, die zwischen verschiedenen Individuen unterschiedlich ausgeprägt sind und sich in ihrer Ausprägung nicht kurzfristig ändern lassen. Intraindividuelle Faktoren sind Faktoren, die einem persönlichen Verhalten zugrunde liegen und verändert werden können.

Auch im Rahmen des europäischen Projekts HEAT-SHIELD (www.heat-shield.eu) mit zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen sowie politischen und kommunalen Einrichtungen wird der Einfluss der in Europa zunehmenden thermischen Belastung auf unterschiedliche Arbeitsbereiche untersucht. Dabei stehen die Bereiche Handwerk, Bau, Tourismus, Landwirtschaft und Transport bezüglich gesundheitlicher und ökonomischer Effekte im Fokus (Morabito et al. 2019). Die Ergebnisse werden sowohl in wissenschaftlichen Publikationen als auch in allgemeinverständlichen Handlungsempfehlungen

dargestellt und richten sich an die genannten Zielgruppen zur Prävention hitzebedingter Gesundheitsprobleme (s. Abb. 2) (Morris et al. 2020).

Auch in Deutschland liegen Instrumente für Arbeitgeber und Beschäftigte zur Anpassung an Hitzeereignisse vor, z.B. „Empfehlungen für heiße Sommertage in Arbeitsstätten“ (2006) sowie eine „Arbeitsstättenregel ASR A3,5 Raumtemperatur“ von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2018). Beide Instrumente zum Hitzeschutz von Beschäftigten sind im Klimavorsorgeportal aufgelistet und können frei heruntergeladen werden (www.klivoportal.de).

Im Arbeitssetting werden Hitzebelastungen nach dem Arbeitsschutzgesetz und den darin geforderten Gefährdungsbeurteilungen bewertet (s. Kap. 7.2.1 und 7.2.2). Gleichfalls können weitere Faktoren das Risiko für die Entwicklung hitzebedingter Gesundheitsprobleme erhöhen. Diese werden in den Kapiteln 7.2.3 und 7.2.4 anhand der Beispiele individueller und sozioökonomischer Faktoren näher erläutert.

7.2 Risikofaktoren für eine erhöhte Hitzebelastung am Arbeitsplatz

Um eine erhöhte Hitzeexposition am Arbeitsplatz zu vermeiden, ist der Arbeitgeber nach dem Arbeitsschutzgesetz verpflichtet, die Arbeitsplätze hinsichtlich der auftretenden Gefährdungen zu beurteilen. In diese Gefährdungsbeurteilung fließen auch Faktoren ein, die das Raumklima und somit auch hohe Temperaturen während der Sommermonate einschließen (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., DGVU 2010). Die Arbeitskleidung und die dadurch möglicherweise erhöhte/verstärkte Hitzebelastung werden dabei ebenso berücksichtigt.

7.2.1 Hitze und Umgebungstemperatur im Innen- und Außenraum

Aus arbeitsmedizinischer Perspektive wird der Schutz der Beschäftigten vor Hitze bisher vor allen Dingen in Zusammenhang mit Vorgängen beschrieben, bei denen es zur Abgabe von Wärme kommt. Hierzu gehören klassischerweise z.B. Schweißarbeiten. Aber auch Tätigkeiten in anderen Bereichen können zu gesundheitlichen Gefährdungen durch Hitze führen und sollten in der Gefährdungsbeurteilung entsprechend bedacht werden. Beispiele hierfür sind (Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. DGAUM 2012):

- Eisen- und Stahlherstellung
- Metallbe- und -verarbeitung
- Glas- und Keramikproduktion
- Spüleinrichtungen
- Küchen und Wäschereien

Liegt mindestens einer der in der untenstehenden Aufzählung genannten Parameter vor, ist eine arbeitsmedizinische Vorsorge notwendig. Beurteilt werden hierfür Lufttemperatur, Luftfeuchte, Flüssigkeitsaufnahme sowie Wärmestrahlung im Gesicht (§ 4 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 3 Absatz 1 Nummer 1 Arb-

MedVV; siehe hierzu auch AMR [arbeitsmedizinische Regel] 13.1). Wenn diese Parameter allerdings durch die Anwendung von technischen (z.B. Jalousien, Klimaanlage) oder organisatorischen (z.B. flexible Gestaltung der Arbeitszeit, Verkürzung der Tätigkeit in den Bereichen mit hoher Temperatur) Arbeitsschutzmaßnahmen ausreichend verändert werden können (s. Kap. 7.4.1), ist keine arbeitsmedizinische Vorsorge mehr notwendig.

Parameter, um eine besondere Gefährdung durch Hitze während der Tätigkeit zu beurteilen

- Lufttemperatur über 45°C und Beschäftigungsdauer > 15 Min.
- Lufttemperatur über 30°C mindestens vier Stunden pro Schicht und gleichzeitig hohe Luftfeuchte (gekennzeichnet beispielsweise durch feuchte oder nasse Haut)
- Flüssigkeitsaufnahme über vier Liter pro Schicht
- Wärmestrahlung im Gesicht unerträglich

Eine weitere Hilfestellung, um das Raumklima an Arbeitsplätzen (keine Anwendung auf Arbeitsplätze in Fahrzeugen und im Freien) beurteilen und Gesundheitsbelastungen vorbeugen zu können, gibt die DGVU-Information (DGVU 2016) „Beurteilung des Raumklimas: Gesund und fit im Kleinbetrieb“. Hiermit soll Unternehmen eine Hilfestellung gegeben werden, um raumklimatische Probleme zu erkennen, zu verringern und, wenn möglich, selbst zu beseitigen. Die Checkliste fragt dabei die Lufttemperatur und -feuchtigkeit, die Flüssigkeitsaufnahme, die Wärmestrahlung sowie das subjektive Befinden des Beschäftigten ab. Die Ergebnisse liegen entweder im grünen, gelben oder roten Bereich und können ggf. Maßnahmen nach sich ziehen. Sind die Beurteilung des Raumklimas oder entsprechende Maßnahmen für den Arbeitgeber schwer durch- oder umsetzbar, ist eine Raumklimaanalyse durch entsprechend ausgebildetes Personal (Sicherheitsfachkräfte, Betriebsärzte, Berufsgenossenschaften) durchzuführen.

In Außenbereichen sind hauptsächlich Beschäftigte aus der Land- und Forstwirtschaft, dem Gartenbau oder bei der Durchführung von Bauarbeiten betroffen. Sie sind der Hitze direkt und ungeschützt ausgesetzt (DGAUM 2012).

7.2.2 Hitzebelastung aufgrund von Arbeitskleidung

Um den Einfluss der Arbeitskleidung auf die thermische Belastung der Beschäftigten zu untersuchen, sind alle Faktoren zu berücksichtigen, die die metabolische Wärmeproduktion des menschlichen Körpers und seinen Wärmeaustausch mit der Umgebung beeinflussen. Diese sind in der Leitlinie „Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze“ definiert als:

- Arbeitsenergieumsatz (Arbeitsenergieumsatz = Gesamtenergieumsatz – Grundenergieumsatz), d.h. metabolische Wärmeentwicklung (zur Einordnung des Arbeitsenergieumsatzes während einer 8-stündigen Arbeitsschicht siehe DIN 33 403 T3 oder DGAUM 2012.)
- Bekleidungsisoliation
- Expositionsdauer

Definition Schutzkleidung

Arbeitsrechtlich sind die Untergruppen Berufskleidung, Dienstkleidung und Schutzkleidung zu unterscheiden. Schutzkleidung ist eine Arbeitskleidung, die aus Gründen des Arbeitsschutzes vom Arbeitnehmer zu tragen ist, z.B. im Gesundheitswesen, bei der Feuerwehr, in der Gärtnerei- und Forstwirtschaft oder in technischen Bereichen.

Es ist davon auszugehen, dass einige Formen der Schutzkleidung, z.B. zum Schutz vor Infektionen im Gesundheitswesen, vor allem bei erhöhten Raumtemperaturen zu verstärktem Schwitzen und zu rascherer körperlicher Ermüdung führen (Dorman u. Havenith 2009; Jacklitsch et al. 2016) (s. Definition Schutzklei-

dung). Die reduzierte Luftströmung unter der Schutzkleidung verringert die Abführung der Körperwärme und der Körper kann überhitzen (DGAUM 2012). Neben der eigenen Gesundheit wird aber auch die Qualität der Arbeit beeinträchtigt. Dadurch, dass die Schutzkleidung auch in Umgebungen getragen werden muss, in denen es durch unzureichende oder fehlende Klimatisierung zu Temperaturen von 30°C oder mehr kommen kann, ist mit einer erheblichen thermischen Beanspruchung der Arbeitnehmer zu rechnen (Klenk et al. 2010). Bei (hitzebedingten) Problemen mit der Schutzkleidung ist dann der zuständige Betriebsarzt zu konsultieren. Dieser kann die individuelle Gefährdung aufgrund des Gesundheitszustandes des Beschäftigten und unter Berücksichtigung weiterer Faktoren wie Akklimatisation, Körpergewicht, Ernährungszustand, Konstitution, Trainingszustand und psychosozialen Faktoren beurteilen (DGAUM 2012).

7.2.3 Hitzebelastung aufgrund individueller Risikofaktoren

Alter

Da altersbedingt die Thermoregulationsfähigkeit des Körpers abnimmt, weil sich die Transpiration, der Blutfluss zur Haut und die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit vermindern, können sich ältere Menschen, abhängig von individueller Physiologie und Fitness, nicht mehr in dem Maße an Hitze anpassen wie jüngere Menschen (Best et al. 2012; Schoierer et al. 2019). Das Vorkommen weiterer Risikofaktoren, wie bspw. chronische Erkrankungen und (eine damit einhergehende) Medikamenteneinnahme, erhöhen das Risiko für hitzebedingte Gesundheitsprobleme, da sich beispielsweise die Symptomatik der bestehenden Vorerkrankung (deutlich bis lebensgefährlich) verschlechtern kann. Dies trifft bereits auf Menschen ab 60 Jahren zu, weshalb somit ein in den letzten Jahren gewachsener Anteil der beschäf-

tigten Bevölkerung zur Risikogruppe gehört. Während im Jahr 2008 beispielsweise 8% der Menschen zwischen 65 und 69 Jahren berufstätig waren, lag dieser Wert im Jahr 2018 bei 17% (Destatis 2020).

Der Schutz älterer Beschäftigter vor Hitzeerkrankungen gewinnt folglich aus Sicht der Arbeitsmedizin zunehmend an Bedeutung, da die körperliche Fitness sowie der Gesundheitszustand eine wichtige Rolle in der körperlichen Resilienz gegenüber Hitze spielen (Lundgren et al. 2013).

Chronische Erkrankungen

Studien haben zum Beispiel ein erhöhtes Risiko für das Auftreten kardialer Thrombosen im Zusammenhang mit Dehydration bei hohen Temperaturen gezeigt (Näyhä 2005). Eine belgische Studie (Nawrot et al. 2005) identifiziert die endotheliale Dysfunktion als möglichen Mechanismus für die kardiovaskulären Wirkungen. Eine Hitzewelle in Kalifornien im Jahr 2006 führte zu einem starken Anstieg der Krankenhauseinweisungen aufgrund von Herz-Kreislauf- und anderen Erkrankungen (Knowlton et al. 2009; Takaro et al. 2013).

In weiteren Studien konnte zudem gezeigt werden, dass es durch die klimabedingte Temperaturerhöhung zu Nierenerkrankungen kommen kann (Johnson et al. 2019). Der Hitzschlag kann eine wichtige Rolle bei der Verursachung von akuten Nierenerkrankungen spielen, was zu einem erhöhten Risiko für akute Nierenverletzungen durch die Auflösung quergestreifter Muskelfasern (Rhabdomyolyse) oder hitzeinduzierte entzündliche Nierenschäden führt (s. Tab. 1). Wiederkehrende Hitze und dadurch bedingte Dehydration können zu chronischen Nierenerkrankungen (chronic kidney disease = CKD) führen. Hitzestress und Dehydration spielen auch eine Rolle bei der Bildung von Nierensteinen. Unzureichende Hydratation kann das Risiko für wiederkehrende Harnwegsinfektionen erhöhen (Mora et al. 2017).

Bei medikamentös behandelten chronischen Erkrankungen können sich die Medikamente auf das Durstgefühl, das Trinkverhalten und den körpereigenen Wasserhaushalt auswirken. Ebenso kann Hitze die Wirkung und Nebenwirkungen von Medikamenten beeinflussen (Vassallo u. Delaney 1989; Cuddy 2004; Nordon et al. 2009; Westaway et al. 2015; Kalisch Ellett et al. 2016; Mangoni et al. 2016, 2017; Kiesel et al. 2018; Universitätsklinikum Heidelberg 2020).

Übergewicht

Menschen mit einem hohen Übergewicht (BMI 30+) sind durch Hitze zusätzlich belastet. Das Fettgewebe fungiert als Isolationssperre, das den gesunden Wärmehaushalt des Körpers empfindlich stören kann. Um die nötige Körperkerntemperatur von circa 37°C konstant zu halten, muss das Herzkreislaufsystem verstärkt Blutvolumen in die Außenbereiche unseres Körpers pumpen. Dies belastet das Herzkreislaufsystem zusätzlich (Meade et al. 2020).

Des Weiteren gehen mit Übergewicht eine geringere Fitness und oftmals Folgeerkrankungen einher, wie Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, Diabetes mellitus oder Erkrankungen des Bewegungsapparates. Diese Folgeerkrankungen erschweren die Anpassung an Hitze noch einmal zusätzlich (Meade et al. 2020).

7.2.4 Hitzebelastung aufgrund sozio-ökonomischer Faktoren

Das gesundheitliche Risiko am Arbeitsplatz kann weiterhin davon beeinflusst werden, inwiefern die Beschäftigten im privaten Bereich gegenüber Hitze exponiert sind und sich in ihren Erholungszeiten zu Hause regenerieren können. Zu berücksichtigende Faktoren sind unter anderem eine ländliche oder städtische

Wohnumgebung, die Süd-/Westausrichtung der Wohnung, eine Lage der Wohnung im Dachgeschoss, eine unzureichende Dämmung bzw. auch fehlende, effektive Verschattungsmöglichkeiten (UBA 2019a). Hohe Innenraumtemperaturen können den nächtlichen Erholungsschlaf empfindlich stören und z.B. zu Erschöpfung, Konzentrationsschwäche und allgemeinem Unwohlsein am nächsten Tag führen (HARVARD Kennedy School 2018; Zheng et al. 2019). Dies kann ebenso die Leistungsfähigkeit während der Arbeit als auch das Unfallrisiko beeinflussen (Rameezdeen u. Elmualim 2017). Der Erholungswert in ländlichen Gebieten ist in Bezug auf Hitzeereignisse höher als für Bewohner in der Stadt, da sich Städte aufgrund des Wärmeinseleffektes stärker aufheizen und dadurch ein teils sehr deutlicher Temperaturunterschied zwischen städtischen und ländlichen Räumen entstehen kann (Brasseur et al. 2017). Damit gewinnen auch sozioökonomische Faktoren an Bedeutung, da die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel mit der Wohnsituation assoziiert sind und auch die Umsetzbarkeit entsprechender Hitzeanpassungsmaßnahmen (Umzug, Installation von Rollos etc.) bestimmen. So zeigt bspw. die Analyse der Stadt Berlin, dass die bioklimatische Belastungssituation in sozial schwächeren Stadtteilen höher ausfällt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2015).

7.3 Hitze und die Folgen für die Arbeitswelt

7.3.1 Komplexität von Hitze, Gesundheit und Volkswirtschaft

Ursachen von Hitze sowie die Konsequenzen verstärkende Faktoren sind sowohl für den Einzelnen als auch für die Gesellschaft äußerst komplex miteinander verbunden, wie die vorangegangenen Kapitel gezeigt haben. Kjellstrom et al. (2016) haben diese Komplexität anhand eines Flussdiagramms dargestellt (s. Abb. 3).

Dabei wird deutlich, dass Hitze sowohl negative Konsequenzen für die Gesundheit der Bevölkerung als auch für die Volkswirtschaft hat.

7.3.2 Gesundheit und Produktivitätsverlust durch Hitze

Diesen Ansatz verfolgt auch das europäische Projekt HEAT-SHIELD, welches den Einfluss von klimawandelbedingter Hitze auf die Arbeitswelt in Europa untersucht und den Produktivitätsverlust durch die Umgebungswärme darstellt. Dabei wird zum einen der beobachtete, zum anderen der projizierte (mittlere) Prozentsatz (Annahme: stärkstes Emissionsszenario [RCP8.5]) der verlorenen Sommerarbeitszeit aufgrund von Hitze einwirkung unter sonnigen Bedingungen betrachtet. Während im Zeitraum 1981 bis 2010 nur in wenigen Gegenden Europas mehr als 5% der Arbeitsleistung aufgrund zu hoher Temperaturen verloren gingen und nur selten ein Verlust von 25% verzeichnet werden konnte, zeigt die Projektion, dass insbesondere in den Anrainerstaaten des Mittelmeeres dieser Wert im Zeitraum von 2070 bis 2099 auf 50% steigen könnte. Auch zeigt die Projektion eine Zunahme des Arbeitsverlustes in Deutschland, insbesondere in den südlichen Regionen (Casanueva et al. 2020).

7.3.3 Zunahme der Arbeitsunfähigkeitsfälle durch Hitze und Sonnenlicht (ICD-T67)

Einige Studien belegen mittlerweile den Zusammenhang von extremer Hitze und ernsthaften Erkrankungsfällen z.B. bei Außenarbeitern (Gubernot et al. 2015; Kjellstrom et al. 2018; Riley et al. 2018). In Deutschland sind diese Fälle unter dem ICD-10-Diagnoseschlüssel T67, Schäden durch Hitze und Sonnenlicht, klassifiziert. Hierzu gehören Hitzeschlag, Sonnenstich, Hitzekollaps, Hitzekrampf, Hitzeerschöpfung (durch Wasserverlust), Hitzeerschöpfung (durch Salzverlust), Hitzeerschöp-

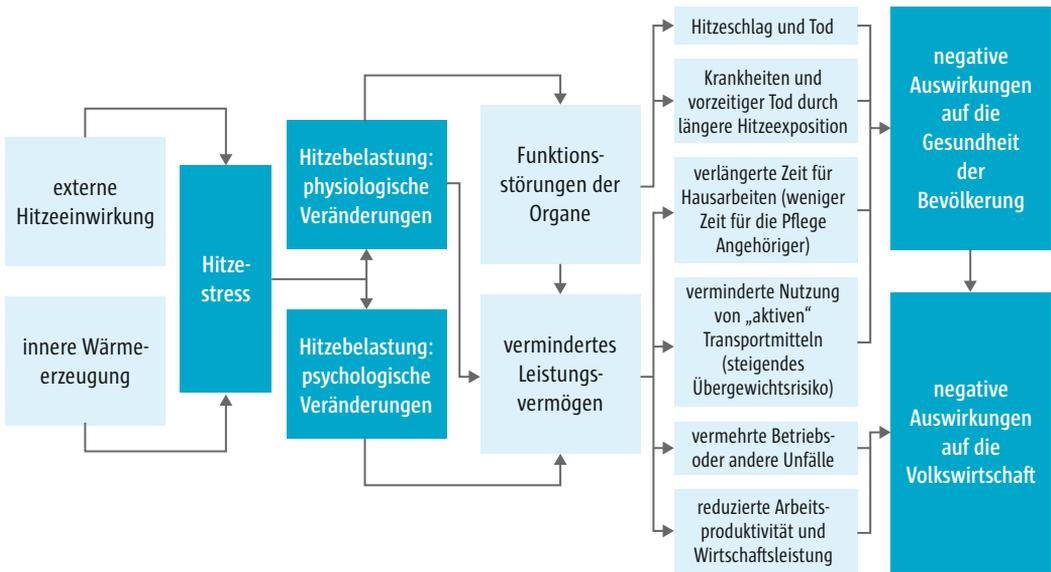


Abb. 3 Flussdiagramm (modifiziert nach Kjellstrom et al. 2016, mit freundlicher Genehmigung von Annual Reviews, Inc.)

fung (nicht näher bezeichnet), passagere Hitzeermüdung, Hitzeödem, sonstige Schäden durch Hitze und Sonnenlicht, Schäden durch Hitze und Sonnenlicht (nicht näher bezeichnet). Die Ergebnisse der Krankheitsartenstatistik der gesetzlichen Krankenversicherung aus dem Jahr 2018 (Bundesgesundheitsministerium, BMG 2018b) zeigen, dass unter dem ICD-10 T67 insgesamt 79.177 Arbeitsunfähigkeitstage verzeichnet sind, welche von 19.921 Fällen durch Pflichtmitglieder in Anspruch genommen wurden.

Es ist ersichtlich, dass die Fehltage durch „Schäden durch Hitze und Sonnenlicht“ kontinuierlich steigen (s. Abb. 4). Besonders in den Hitzejahren 2010, 2013, 2015 und 2018 sind viele Arbeitsunfähigkeitstage verzeichnet. In dieser Statistik nicht erfasst sind die Personen mit Krankheiten durch Hitze, die nicht bei einem Arzt vorstellig wurden oder die von dem behandelnden Arzt nicht als ICD-T67 Fälle eingestuft worden sind, beispielsweise Übelkeit oder Kopfschmerzen, welche auch hitzebedingt auftreten können.

Somit ist von einer höheren Dunkelziffer auszugehen. Dies bedeutet nicht nur eine ökonomische Belastung der Gesellschaft durch die Abrechnung der Krankheitstagegelder und Inanspruchnahme von ärztlicher Beratung, sondern auch ein durch die Arbeitsausfälle verursachter ökonomischer Schaden bei den jeweiligen Firmen (Vanos et al. 2019). Bisherige Studien, die den wirtschaftlichen Verlust aufgrund von Fehltagen der Beschäftigten durch Hitze quantifizieren, liegen bisher nur für wenige Berufsgruppen vor und hier in erster Linie für Außenarbeiter.

Die Ergebnisse lassen sich oftmals nicht oder nur bedingt vergleichen, zeigen jedoch eine erste Richtung der Forschungsentwicklung an.

In Anbetracht des Klimawandels und der Zunahme der Hitzetage kann von einer weiteren Steigerung der Arbeitsunfähigkeitstage bzw. der Krankheitsfälle aufgrund von Hitze ausgegangen werden, sofern nicht umfangreiche Präventionsmaßnahmen für die einzelnen Gruppen entwickelt bzw. angeboten werden.

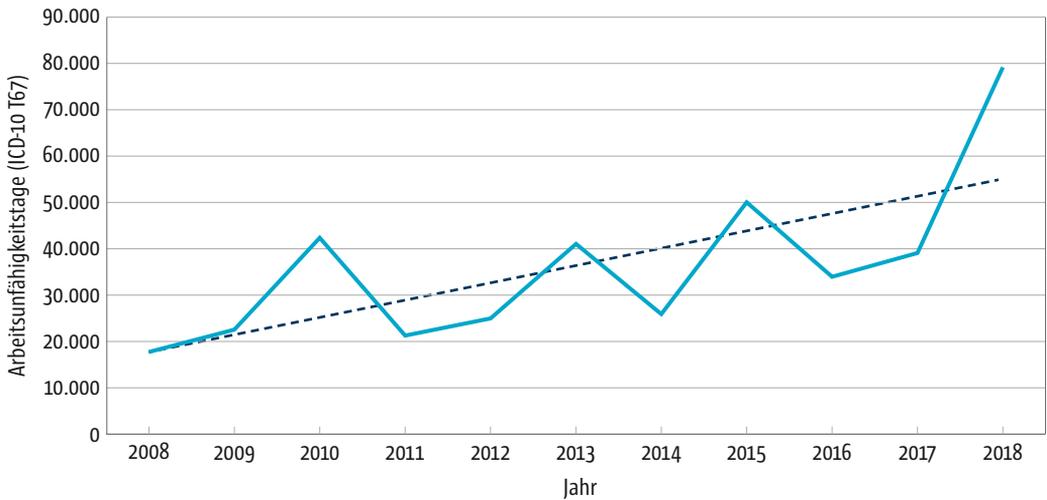


Abb. 4 Darstellung der Arbeitsunfähigkeitstage nach ICD-10 T67 der Jahre 2008 bis 2018 (Daten aus BMG 2018a)

7.4 Arbeitsmedizinische Prävention

Im Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG § 3) ist festgelegt, dass der Betriebsarzt den Arbeitgeber bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG § 5) unterstützen soll. Eine arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge wird notwendig, wenn innerhalb einer Gefährdungsbeurteilung eine mögliche Gefährdung durch extreme Hitze festgestellt wurde. Hierzu hat die DGAUM bereits eine umfangreiche und hilfreiche Zusammenstellung veröffentlicht, an der sich die nun folgenden Ausführungen orientieren (DGAUM 2012).

7.4.1 Rechtliche Grundlagen

Der Schutz der Beschäftigten vor hitzebedingten Gesundheitsproblemen ist in der Arbeitsstättenregel (ASR) 3.5 „Raumtemperatur“ festgelegt (BAuA 2018). Der Arbeitgeber muss darauf achten, dass die notwendigen baulichen Voraussetzungen an den sommerlichen Wärmeschutz gegeben sind. In vielen Bereichen kann so die Hitzebelastung durch technische Möglichkeiten verringert werden. Wenn die Außen-

lufttemperatur +26°C beträgt und unter der Voraussetzung, dass geeignete Sonnenschutzmaßnahmen umgesetzt werden, sollen beim Überschreiten einer Lufttemperatur im Raum von +26°C zusätzliche Maßnahmen, wie unten aufgeführt, ergriffen werden. In seltenen Fällen kann es durch Arbeiten bei über +26°C zu einer Gefährdung der Gesundheit kommen. In diesen Fällen ist die Gefährdungsbeurteilung anzupassen und über weitere Maßnahmen zu entscheiden. Dies ist der Fall, wenn z.B.

- schwere körperliche Arbeit zu verrichten ist,
- besondere Arbeits- oder Schutzbekleidung getragen werden muss, die die Wärmeabgabe stark behindert oder
- gesundheitlich Vorbelastete und besonders schutzbedürftige Beschäftigte (z.B. Jugendliche, Ältere, Schwangere, stillende Mütter) im Raum tätig sind.

Wird im Arbeitsraum die Lufttemperatur von +30°C überschritten, sind nachfolgend aufgeführte wirksame Maßnahmen zu ergreifen, die die Beanspruchung der Beschäftigten verringern. Dabei gehen technische und organisatorische Maßnahmen den personenbezogenen Maßnahmen vor.

Maßnahmen bei Überschreitung der Raumtemperatur von +26°C (und bei vorliegenden besonderen Gegebenheiten) und von +30°C gemäß der Arbeitsstättenregel (ASR) 3.5

- effektive Steuerung des Sonnenschutzes (z.B. Jalousien auch nach der Arbeitszeit geschlossen halten)
- effektive Steuerung der Lüftungseinrichtungen (z.B. Nachtauskühlung)
- Reduzierung der inneren thermischen Lasten (z.B. elektrische Geräte nur bei Bedarf betreiben)
- Lüftung in den frühen Morgenstunden
- Nutzung von Gleitzeitregelungen zur Arbeitszeitverlagerung
- Lockerung der Bekleidungsregelungen
- Bereitstellung geeigneter Getränke (z.B. Trinkwasser)

Wenn im Innenraum eine Lufttemperatur von +35°C überschritten wird, so ist der betreffende Raum laut ASR 3.5 „Raumtemperatur“ in dieser Zeit ohne folgende Maßnahmen nicht als nicht als Arbeitsraum geeignet. Dies kann jedoch abgewendet werden, wenn folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- technische Maßnahmen (z.B. Luftduschen, Wasserschleier),
- organisatorische Maßnahmen (z.B. Entwärmungsphasen) oder
- persönliche Schutzausrüstungen (z.B. Hitzeschutzbekleidung)

Durch technische Maßnahmen, die die Lufttemperatur reduzieren, darf die absolute Luftfeuchte nicht erhöht werden. Für Baustellen gelten abweichende/ergänzende Anforderungen.

7.4.2 Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten

Kühlung der Arbeitsumgebung

Die Kühlung der Arbeitsumgebung ist der effektivste Weg, um Beschäftigte vor Hitze zu schützen (Morris et al. 2020). Um negative Fol-

gen für die Klimaerwärmung zu verhindern, sollte auf klimafreundliche Kühlanlagen gesetzt werden, wie beispielsweise Heiz- und Kühldeckensysteme, die im Sommer statt heißem kaltes Wasser transportieren. Von dieser Kühlung profitieren jedoch nur Beschäftigte in Innenräumen und nicht diejenigen, die aufgrund ihrer Tätigkeit direkt der Hitze ausgesetzt sind, wie in der Landwirtschaft oder im Baugewerbe.

Kleidung

Eine angepasste Kleidung wird nach dem Kühlen der Arbeitsumgebung als wichtigster Schutz der Beschäftigten angesehen. Dabei ist das Tragen von Kühlwesten besonders effektiv. Aber auch die Nutzung von atmungsaktiver und luftiger Kleidung ermöglicht eine verbesserte Wärmeabfuhr über die Haut. Für Beschäftigte, die im Freien arbeiten und direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, empfiehlt sich lichtreflektierende, helle Arbeitskleidung (Morris et al. 2020).

Akklimation

Mit gezielten Maßnahmen lässt sich die Toleranz gegenüber Hitze vor Beginn der Arbeit erhöhen (Aoyagi et al. 1997). Hauptsächlich durch eine Steigerung der körperlichen Fitness und eine größere Flüssigkeits- und Elektrolytaufnahme vor dem Arbeitseinsatz kann die Anpassungsfähigkeit der körpereigenen Thermoregulation verbessert werden. Dadurch ist es möglich, dass Hitzebelastungen deutlich länger ertragen werden können. Nach etwa zehn Tagen Akklimation wird prinzipiell mit einem ersten ausreichenden Schutz gerechnet und nach etwa vier Wochen ist der Körper in der Regel vollständig akklimatisiert (Piekarski u. Zerlett 1993). Jedoch sollte der Akklimationszustand nicht unterbrochen werden, denn laut DGAUM (2012) wird bei einer Unterbrechung

von einer Woche der Akklimatisationsgrad um 50% verringert.

Kühlen des Körpers

Kaltes Wasser kann dem Körper eine angenehme Abkühlung ermöglichen und ist eine einfache und kostengünstige Möglichkeit des Hitzeschutzes. Dabei ist es für die Beschäftigten bereits entlastend, kühles Wasser über die Unterarme fließen zu lassen (Morris et al. 2020).

Flüssigkeitshaushalt

Um die eigene Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu erhalten, sollte ein Arbeitnehmer an einem Hitze Arbeitsplatz auf regelmäßige und ausreichend Flüssigkeitsaufnahme achten. Der durch Schwitzen entstandene Flüssigkeitsverlust sollte durch entsprechende Trinkmengen ausgeglichen werden, auch wenn der Betroffene kein Durstgefühl hat (sog. „preventive drinking“) (DGAUM 2012).

Elektrolyte

Zu Beginn der Arbeit an einem Hitze Arbeitsplatz kann es aufgrund fehlender Anpassung des eigenen Körpers zu einem Elektrolytmangel kommen. Dieser reguliert sich jedoch mit zunehmender Anpassung, sodass bei ausreichender Zufuhr über die Nahrung auf eine ausgeprägte Supplementierung weitgehend verzichtet werden kann (DGAUM 2012). Ist der Akklimatisationsstatus noch unzureichend, kann mit einer Elektrolytlösung (zum Beispiel aus der Apotheke oder ein gestrichener TL Salz auf ein Liter Wasser) vor der Arbeitsschicht supplementiert werden.

Energiebedarf/Ernährung

Eine Erhöhung der Energiezufuhr durch eine Anpassung der Ernährung ist im Allgemeinen nicht notwendig, da der Energiebedarf hauptsächlich von der Arbeitsschwere abhängt (DGAUM 2012).

Arbeitsorganisation

Die Arbeitsschwere sollte an das Klima angepasst werden. Wie oben bereits beschrieben, sollte bei entsprechender Hitzebelastung am Arbeitsplatz versucht werden, die daraus entstehende Belastung für die Beschäftigten durch organisatorische Arbeitsschutzmaßnahmen zu verringern. Beispiele hierfür sind oben dargestellt. Leitlinienkonform kann im trockenen Klima „bei einer Lufttemperatur von 35–45°C eine Unterbrechung von 15 oder 20 min pro Stunde notwendig sein. In den Arbeitspausen muss dem erwärmten Körper in geeigneter Umgebung (Schatten oder kühlere Bereiche) Gelegenheit zur Abkühlung gegeben werden“ (DGAUM 2012). Wenn (Berufs-)Kleidung getragen wird, die eine isolierende Wirkung hat, soll diese dann abgelegt, oder zumindest geöffnet werden.

7.5 Zusammenfassung der Relevanz für Deutschland

Die thermische Hitzebelastung am Arbeitsplatz wird sich vor dem Hintergrund der klimatischen Veränderung in den nächsten Jahren noch erhöhen. Dabei ist die Hitzebelastung abhängig von mehreren Faktoren wie Umgebungstemperatur, Art der Tätigkeit, individuelle Physiologie und Fitness sowie sozioökonomischer Situation. Studien zeigen neben den negativen Folgen für die Gesundheit der Beschäftigten auch negative Auswirkungen auf deren Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftsleistung.

Präventionsmaßnahmen sind für Deutschland im Rahmen der Leitlinien der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften veröffentlicht und werden durch weitere praxisnahe Empfehlungen aus der Wissenschaft ergänzt. Dabei ist eine Kombination aus mehreren Maßnahmen sicherlich der effektivste Weg, um die Beschäftigten vor Hitze am Arbeitsplatz zu schützen.

Vor dem Hintergrund der Anzahl von Arbeitsunfähigkeitsmeldungen aufgrund von Hitzeerkrankungen ist zu diskutieren, ob bereits ausreichende Präventionsmaßnahmen am Arbeitsplatz umgesetzt werden.

Die zunehmende Betroffenheit Deutschlands in Bezug auf thermische Hitze am Arbeitsplatz sollte sich zum einen im „Vorbereitet sein“ auf Hitzewellen, zum anderen aber auch in einer für die jeweilige Arbeitsstätte passgenauen Handlungsempfehlung im Falle einer Hitzewelle widerspiegeln.

Die Hitzebelastung am Arbeitsplatz hat Auswirkungen auf Gesundheit und Produktivität und sollte als Problem der öffentlichen Gesundheit anerkannt werden. Es sind (interdisziplinäre) Maßnahmen erforderlich, um die Auswirkungen angesichts des Klimawandels und des zu erwarteten Anstiegs des Hitzestresses abzuschwächen.

Literatur

- an der Heiden M, Buchholz U, Uphoff H (2020) Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle infolge der Hitzewelle 2018. UMID – UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST, 77–90
- an der Heiden M, Muthers S, Niemann H, Buchholz U, Grabenhenrich L, Matzarakis A (2019) Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 62, 571–579
- Aoyagi Y, McLellan TM, Shephard RJ (1997) Interactions of physical training and heat acclimation. The thermophysiology of exercising in a hot climate. Sports medicine (Auckland, N.Z.) 23, 173–210
- Best S, Caillaud C, Thompson M (2012) The effect of ageing and fitness on thermoregulatory response to high-intensity exercise. Scand J Med Sci Sports 22, e29–37
- Binazzi A, Levi M, Bonafede M, Bugani M, Messeri A, Morabito M, Marinaccio A, Baldasseroni A (2019) Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. Am J Ind Med 62, 233–243
- Bissolli P, Deutschländer T, Imbery F, Lefebvre C, Blahak J, Fleckenstein R, Breyer J, Rocek M, Kreienkamp F, Rösner S, Schreiber K (2019) Hitzewelle Juli 2019 in Westeuropa – neuer nationaler Rekord in Deutschland. URL: www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801_hitzerekord_juli2019.pdf?__blob=publicationfile&v=2 (abgerufen am: 01.03.2021)
- Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (2017) Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum Heidelberg
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2018) Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5. URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?__blob=publicationfile&v=5 (abgerufen am 02.03.2021)
- Bundesgesundheitsministerium (BMG) (2018a) Angaben zu den Geschäftsergebnissen der GKV bezüglich der Leistungsfälle und Tage. URL: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/krankenversicherung/zahlen-und-fakten-zur-krankenversicherung/geschaeftergebnisse.html#c10337> (abgerufen am: 01.03.2021)
- Bundesgesundheitsministerium (BMG) (2018b) Arbeitsunfähigkeit: Fälle und Tage nach Diagnosen
- Bundesministerium für Umwelt (BMU) (2013) Repräsentativumfrage zu Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2012. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Förderkennzeichen 3711 17 11
- Bundesministerium für Umwelt (BMU), Umweltbundesamt (UBA) (2017) Umweltbewusstsein in Deutschland 2016 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage
- Casanueva A, Kotlarski S, Fischer AM, Flouris AD, Kjellstrom T, Lemke B, Nybo L, Schwier C, Liniger MA (2020) Escalating environmental summer heat exposure—a future threat for the European workforce. Regional Environmental Change 20, 40
- Cuddy MLS (2004) The effects of drugs on thermoregulation. AACN Advanced Critical Care 15, 238–253
- Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM) (2012) Leitlinie Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze. URL: www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-039.html (abgerufen am: 01.03.2021)
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2010) Beurteilung des Raumklimas. Gesund und fit im Kleinbetrieb
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2016) DGUV Information 215–510 Beurteilung des Raumklimas – Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen Berlin
- Dorman LE, Havenith G (2009) The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. European Journal of Applied Physiology 105, 463–470

- Flouris AD, Dinas PC, Ioannou LG, Nybo L, Havenith G, Kenny GP, Kjellstrom T (2018) Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health* 2, e521-e531
- Gabriel KM, Endlicher WR (2011) Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution* 159, 2044–2050
- Gao C, Kuklane K, Östergren PO, Kjellstrom T (2018) Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *International Journal of Biometeorology* 62, 359–371
- Gubernot DM, Anderson GB, Hunting KL (2015) Characterizing occupational heat-related mortality in the United States, 2000–2010: an analysis using the Census of Fatal Occupational Injuries database. *Am J Ind Med* 58, 203–211
- HARVARD Kennedy School (2018) When the heat is on, student learning suffers. URL: <https://www.hks.harvard.edu/announcements/when-heat-student-learning-suffers> (abgerufen am 01.03.2021)
- Herrmann A, Haefeli WE, Lindemann U, Rapp K, Roigk P, Becker C (2019) Epidemiology and prevention of heat-related adverse health effects on elderly people. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 52, 487–502
- Jacklitsch B, Williams W, Musolin K, Coca A, Kim J-H, Turner N (2016) Occupational exposure to heat and hot environments: revised criteria 2016 106. URL: www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf?id=10.26616/NIOSHPUB2016106 (abgerufen am 01.03.2021)
- Johnson RJ, Sánchez-Lozada LG, Newman LS, Lanaspas MA, Diaz HF, Lemery J, Rodriguez-Iturbe B, Tolan DR, Butler-Dawson J, Sato Y, Garcia G, Hernando AA, Roncal-Jimenez CA (2019) Climate Change and the Kidney. *Ann Nutr Metab* 74 Suppl 3, 38–44
- Kalisch Ellett LM, Pratt NL, Le Blanc VT, Westaway K, Roughead EE (2016) Increased risk of hospital admission for dehydration or heat-related illness after initiation of medicines: a sequence symmetry analysis. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics* 41, 503–507
- Kenny GP, Notley SR, Flouris AD, Grundstein A (2020) Climate Change and Heat Exposure: Impact on Health in Occupational and General Populations. In: Adams W, Jardine J (eds) *Exertional Heat Illness*. Springer, Cham
- Kenny GP, Wilson TE, Flouris AD, Fujii N (2018) Heat exhaustion. *Handbook of Clinical Neurology* 157. Elsevier Amsterdam, Oxford, Cambridge
- Kenny GP, Yardley J, Brown C, Sigal RJ, Jay O (2010) Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Cmaj* 182, 1053–1060
- Kiesel EK, Hopf YM, Drey M (2018) An anticholinergic burden score for German prescribers: score development. *BMC geriatrics* 18, 239
- Kjellstrom T, Briggs D, Freyberg C, Lemke B, Otto M, Hyatt O (2016) Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts. *Annual Review of Public Health* 37, 97–112
- Kjellstrom T, Freyberg C, Lemke B, Otto M, Briggs D (2018) Estimating population heat exposure and impacts on working people in conjunction with climate change. *International Journal of Biometeorology* 62, 291–306
- Kjellstrom T, Lemke B, Lee J (2019) Workplace Heat: An increasing threat to occupational health and productivity. *Am J Ind Med* 62, 1076–1078
- Klenk J, Becker C, Rapp K (2010) Heat-related mortality in residents of nursing homes. *Age and Ageing* 39, 245–252
- Knowlton K, Rotkin-Ellman M, King G, Margolis HG, Smith D, Solomon G, Trent R, English P (2009) The 2006 California heat wave: impacts on hospitalizations and emergency department visits. *Environ Health Perspect* 117, 61–67
- Levi M, Kjellstrom T, Baldasseroni A (2018) Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Lav* 109, 163–179
- Lundgren K, Kuklane K, Gao C, Holmér I (2013) Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind Health* 51, 3–15
- Mangoni AA, Kholmurodova F, Mayner L, Hakendorf P, Woodman RJ (2017) The Concomitant Use of Diuretics, Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs, and Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitors or Angiotensin Receptor Blockers (Triple Whammy), Extreme Heat, and In-Hospital Acute Kidney Injury in Older Medical Patients. *Advances in Therapy* 34, 2534–2541
- Mangoni AA, Kim S, Hakendorf P, Mayner L, Woodman RJ (2016) Heat waves, drugs with Anticholinergic effects, and outcomes in older hospitalized adults. *Journal of the American Geriatrics Society* 64, 1091–1096
- Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, Roberts D, Skea J, Shukla PR, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews JBR, Chen Y, Zhou X, Gomis MI, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (2019) IPCC 2018: Global warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (abgerufen am 09.03.2021)
- Matthies F, Bickler G, Marin NC, Hales S (2008) Heat-health Action Plans. Guidance. World Health Organization Europe Copenhagen, Denmark. URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf (abgerufen am 09.03.2021)
- Matthies-Wiesler F (2019) Policy Brief für Deutschland. URL: www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Pressemitteilungen/20191114_Klimawandel/3_Lancet_Countdown_Policy_brief_for_Germany_German_v01b.pdf (abgerufen am 01.03.2021)
- Meade RD, Akerman AP, Notley SR, McGinn R, Poirier P, Gosselin P, Kenny GP (2020) Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: A narrative review. *Environ Int* 144, 105909
- Mora C, Counsell CW, Bielecki CR, Louis LV (2017) Twenty-seven ways a heat wave can kill you: Deadly heat in the era of climate change. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes* 10(11), e004233
- Morabito M, Messeri A, Noti P, Casanueva A, Crisci A, Kotlarski S, Orlandini S, Schwierz C, Spirig C, Kingma BRM, Flouris AD,

- Nybo L (2019) An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform. *Int J Environ Res Public Health* 16(16), 2890
- Morris NB, Jay O, Flouris AD, Casanueva A, Gao C, Foster J, Havenith G, Nybo L (2020) Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain – An umbrella review of physiological effects and global health perspectives. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 19, 1–24
- Nawrot TS, Staessen JA, Fagard RH, van Bortel LM, Struijker-Boudier HA (2005) Endothelial function and outdoor temperature. *Eur J Epidemiol* 20, 407–410
- Näyhä S (2005) Environmental temperature and mortality. *International Journal of Circumpolar Health* 64, 451–458
- Nordon C, Martin-Latry K, Roquefeuil L de, Latry P, Bégaud B, Falissard B, Rouillon F, Verdoux H (2009) Risk of death related to psychotropic drug use in older people during the European 2003 heatwave: a population-based case-control study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry* 17, 1059–1067
- Piekarski C, Zerlett G (1993) Schädliche Einwirkungen und Noxen aus der Umwelt – Physikalische Einwirkungen. In: Classen M, Diehl V, Kochsiek K (Hrsg.) *Innere Medizin*. S. 865–876. Urban & Schwarzenberg München, Wien, Baltimore
- Rameezdeen R, Elmualim A (2017) The Impact of Heat Waves on Occurrence and Severity of Construction Accidents. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 70
- Riley K, Wilhalme H, Delp L, Eisenman DP (2018) Mortality and Morbidity during Extreme Heat Events and Prevalence of Outdoor Work: An Analysis of Community-Level Data from Los Angeles County, California. *Int J Environ Res Public Health* 15, 580
- Schoierer J, Mertes H, Wershofen B, Bose-O'Reilly S (2019) Training modules on climate change, heat, and health for medical assistants and nurses in outpatient care. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 62, 620–628
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2015) *Umweltatlas Berlin: 09.01 Umweltgerechtigkeit* (Ausgabe 2015). URL: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d901_07.htm (abgerufen am 01.03.2021)
- Spector JT, Masuda YJ, Wolff NH, Calkins M, Seixas N (2019) Heat Exposure and Occupational Injuries: Review of the Literature and Implications. *Curr Environ Health Rep* 6, 286–296
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020) *Erwerbstätigkeit älterer Menschen*. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/Aeltere-Menschen/erwerbstaetigkeit.html> (abgerufen am 01.03.2021)
- Steul K, Schade M, Heudorf U (2018) Mortality during heatwaves 2003–2015 in Frankfurt-Main – the 2003 heatwave and its implications. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 221, 81–86
- Takaro TK, Knowlton K, Balmes JR (2013) Climate change and respiratory health: Current evidence and knowledge gaps. *Expert Review of Respiratory Medicine* 7, 349–361
- Umweltbundesamt (UBA) (2019a) *Klimawandel und Gesundheit Tipps für sommerliche Hitze und Hitzewellen*. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawandel-gesundheit-tipps-fuer-sommerliche-hitze> (abgerufen am 01.03.2021)
- Umweltbundesamt (UBA) (2019b) *Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbundesamt-2019-monitoringbericht-2019-zur> (abgerufen am 01.03.2021)
- Universitätsklinikum Heidelberg (2020) *DOSING: Informationen zur Arzneimittel-Anwendung & -Sicherheit*. URL: www.dosing.de (abgerufen am 01.03.2021)
- Vanos J, Vecellio DJ, Kjellstrom T (2019) Workplace heat exposure, health protection, and economic impacts: A case study in Canada. *Am J Ind Med* 62, 1024–1037
- Vassallo SU, Delaney KA (1989) Pharmacologic effects on thermoregulation: mechanisms of drug-related heatstroke. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology* 27, 199–224
- Watts N, Amann M, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Bouley T, Boykoff M, Byass P, Cai W, Campbell-Lendrum D, Chambers J, Cox PM, Daly M, Dasandi N, Davies M, Depledge M, Depoux A, Dominguez-Salas P, Drummond P, Ekins P, Flahault A, Frumkin H, Georgeson L, Ghanei M, Grace D, Graham H, Grojsman R, Haines A, Hamilton I, Hartinger S, Johnson A, Kelman I, Kiesewetter G, Kniveton D, Liang L, Lott M, Lowe R, Mace G, Odhiambo Sewe M, Maslin M, Mikhaylov S, Milner J, Latifi AM, Moradi-Lakeh M, Morrissey K, Murray K, Neville T, Nilsson M, Oreszczyn T, Owfi F, Pencheon D, Pye S, Rabbaniha M, Robinson E, Rocklöv J, Schütte S, Shumake-Guillemot J, Steinbach R, Tabatabaei M, Wheeler N, Wilkinson P, Gong P, Montgomery H, Costello A (2018) The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet* 391, 581–630
- Westaway K, Frank O, Husband A, McClure A, Shute R, Edwards S, Curtis J, Rowett D (2015) Medicines can affect thermoregulation and accentuate the risk of dehydration and heat-related illness during hot weather. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics* 40, 363–367
- Zheng G, Li K, Wang Y (2019) The Effects of High-Temperature Weather on Human Sleep Quality and Appetite. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16, 270



Dr. phil. Julia Schoierer

Julia Schoierer ist Medizinpädagogin und entwickelt am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin des LMU-Klinikums Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Dabei ist die Hitze, als eine Auswirkung der klimatischen Veränderungen, in den Fokus ihrer Arbeit gerückt und damit der Schutz von Beschäftigten im Gesundheitswesen sowie von Risikogruppen.



Hanna Mertes

Master of Science in Public Health, beschäftigt sich bereits seit einigen Jahren mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Umwelteinflüssen. Seit 2016 liegt ihr Fokus am Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin (AG Globale Umwelt-Gesundheit) auf den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels und der dahingehenden Schulung von Gesundheitsberufen.



Katharina Deering, M.A.

Seit Dezember 2016 am Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin in der AG Globale Umwelt-Gesundheit tätig. Seitdem unterstützt sie Projekte zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit.



PD Dr. med. Stephan Böse-O'Reilly

Habilitiert für den Bereich Umweltmedizin und Public Health. Als Kinder- und Jugendarzt interessiert er sich vor allem für die Zusammenhänge von Kind, Umwelt und Gesundheit. Er leitet die Arbeitsgruppe Globale Umwelt-Gesundheit am Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin des LMU-Klinikums in München. Forschungsschwerpunkte sind gesundheitliche Folgen des Klimawandels, Quecksilberbelastungen im Goldbergbau, Bleibelastung von Kindern, globale Gesundheit und Umweltverschmutzung.



Dr. med. Caroline Quartucci

Fachärztin für Arbeitsmedizin am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin des LMU-Klinikums. Im Rahmen ihrer Tätigkeit ist sie im Betriebsärztlichen Dienst des LMU-Klinikums für die arbeitsmedizinischen Vorsorgen und die Betreuung von über 10.000 Beschäftigten des Klinikums zuständig. Ihre Aufgabe ist es, den Arbeitgeber beim Arbeitsschutz und bei der Unfallverhütung in allen Fragen des Gesundheitsschutzes zu unterstützen, wozu auch die Einführung von Arbeitsverfahren und die Auswahl und Erprobung von Körperschutzmitteln gehören.

8 Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen: Einfluss auf Morbidität und Mortalität

Susanne Breitner, Regina Pickford und Alexandra Schneider

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-8, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffen und Gesundheit werden seit vielen Jahren erforscht. Obwohl die Luftschadstoffe primär über die Atemwege in den Körper gelangen, können sie auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen auslösen. Luftverschmutzung und Klimawandel sind eng miteinander verknüpft. Trotzdem wurden gesundheitliche Effekte von Wetterveränderungen sowie Luftqualität lange Zeit isoliert betrachtet. Die potenziellen Pathomechanismen bei hoher Lufttemperatur legen im Vergleich zu den Mechanismen bei erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen nahe, dass es bei vielen regulatorischen Abläufen im Körper Parallelen zwischen den Einflüssen der beiden Umweltfaktoren gibt. Somit ist vorstellbar, dass es hier zu Interaktionen und Synergien von Lufttemperatur und Luftschadstoffen kommt. Das Zusammenspiel von Hitze und Luftschadstoffen macht es insgesamt schwerer, in der jeweiligen Situation jeweils die bestmöglichen präventiven Maßnahmen zu wählen – optimalerweise sollten sich Benefits für gleichzeitig bestehende Umweltrisiken ergeben. In Bezug auf die Einführung von Hitzewarnsystemen zeigt sich, dass weniger Menschen an übermäßiger Hitze starben und auch die Nachfrage nach Krankenwägen nach der Einführung dieser Systeme zurückging. Es besteht allerdings weiterhin Besorgnis darüber, ob die am stärksten

gefährdeten Gruppen wie ältere Menschen und Obdachlose in diesen Maßnahmen angemessen erreicht werden können.

Associations between air pollutants and health have been investigated for many years. Although air pollutants enter the body primarily via the respiratory tract, they can also trigger cardiovascular diseases. Air pollution and climate change are closely linked. However, the health effects of weather changes and air quality were considered separately for a long time. The potential pathomechanisms related to high air temperature, in comparison to the mechanisms linked to elevated air pollutant concentrations, suggest that there are parallels between the influences of the two environmental factors in many regulatory processes in the body. Hence, it is conceivable that there will be interactions and synergies between air temperature and air pollutants. The interaction of heat and air pollutants makes it more challenging to choose the best possible preventive measures in the respective situation – optimally, there should be benefits for simultaneously existing environmental risks. Regarding the introduction of heat warning systems, fewer people have died from excessive heat, and the demand for ambulances has also decreased

after implementing these systems. However, concerns remain whether the most vulnerable groups such as the elderly and the homeless can be adequately reached in these programs and actions.

8.1 Einleitung

Der Klimawandel verändert die globalen Land- und Meerestemperaturen. Infolgedessen sind Temperaturschwankungen und extreme Hitzeereignisse in vielen Teilen der Welt häufiger geworden, wie unter anderem die Hitzesommer der Jahre 2003, 2006, 2018 und 2019 zeigen. Seitdem nimmt die Exposition der Bevölkerung gegenüber extremer Hitze weltweit zu, was zu zusätzlichen 220 Millionen Belastungsereignissen durch Hitzewellen (definiert als eine Hitzewelle, die von einer Person mit 65 Jahren oder älter erlebt wird) im Jahr 2018 im Vergleich zum Durchschnitt in den Jahren 1986–2005 führte (Watts et al. 2019). Der Klimawandel hat jedoch nicht nur direkte Folgen, sondern beeinflusst andere gesundheitsrelevante Aspekte. So hängen Höhe und Zusammensetzung der Luftschadstoffe unter anderem von Wetterparametern ab. Im Folgenden möchten wir uns mit den Fragen „Was ist bereits bekannt zu gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen?“, „Was bedeutet der Klimawandel für die Zusammensetzung der Luftschadstoffe?“, „Wie wirkt sich das im Zusammenspiel mit sich ändernden Temperaturen auf die menschliche Gesundheit aus?“ und „Welche Präventions- und Schutzmaßnahmen gibt es?“ auseinandersetzen.

8.2 Gesundheitliche Wirkung von Luftschadstoffen

8.2.1 Feinstaub

Feinstaub (PM, particulate matter) besteht aus einem komplexen Gemisch von festen und flüssigen Partikeln, die mit Durchmessern im Bereich von wenigen Mikrometern (μm) mit blo-

ßem Auge nicht erkennbar sind. Meist werden sie anhand ihres aerodynamischen Durchmessers in verschiedene Größenkategorien unterteilt: $\text{PM}_{2,5}$ -Feinstaub enthält Partikel bis etwa $2,5 \mu\text{m}$, die Größenklasse PM_{10} enthält zusätzlich größere Partikel bis etwa $10 \mu\text{m}$. Als Ultrafeinstaub bezeichnet man Partikel mit einem Durchmesser bis etwa $0,1 \mu\text{m}$; er ist in den Größenklassen PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$ mit enthalten, wird aber bei Routinemessungen bisher nicht gesondert erfasst (Schulz et al. 2019a).

Nicht alle Komponenten des Feinstaubes sind gleich gefährlich. Man geht davon aus, dass etwa 20% hoch toxisch sind, dazu gehören Verbrennungsprodukte aus Kfz-Emissionen, Industrie und Hausbrand. Ammoniakemissionen der Landwirtschaft tragen ebenfalls zur Bildung von Feinstaub in der Atmosphäre bei (Schulz et al. 2019a). Weniger toxische Komponenten bestehen aus aufgewirbeltem Staub oder biologischen Materialien (z.B. Saharastaub).

8.2.2 Lungenerkrankungen

Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffen und Atemwegserkrankungen werden seit vielen Jahren erforscht. Zum Beispiel wird der Zusammenhang zwischen $\text{PM}_{2,5}$ und Lungenerkrankungen inzwischen als „kausal“ eingestuft (d.h. für diesen Zusammenhang sind ausreichend Studien vorhanden, in denen zufällige Zusammenhänge, Verzerrungen oder andere Störgrößen ausgeschlossen werden können). Die Hauptursache für Lungenkrebs ist und bleibt das inhalative Zigarettenrauchen. Trotzdem gibt es eine Reihe von Studien, die auch nach einer Adjustierung für Zigarettenrauchen noch deutliche, wenn auch kleine Effekte von Luftschadstoffen sehen (Beelen et al. 2008; Lepeule et al. 2012).

Zu den Atemwegserkrankungen, die durch Luftschadstoffe hervorgerufen oder verstärkt werden können, gehören die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Asthma

bronchiale, Atemwegsinfekte, Bronchitis und Pneumonie sowie die interstitielle Lungen-erkrankung (ILD) (Schulz et al. 2019a).

Selbst bei Gesunden haben Luftschadstoffe negative Auswirkungen auf die Lungengesundheit, indem sie, häufig vom Einzelnen noch unbemerkt, die Lungenfunktion verschlechtern (Adam et al. 2015; Int Panis et al. 2017). Sie kann vom Arzt durch Messgrößen wie Lungenvolumina und Atemstromstärken mittels Spirometrie erfasst werden. Besonders bei Kindern und Heranwachsenden wurde in Studien ein negativer Einfluss auf die Lungenentwicklung durch verschiedene Außenluftschadstoffe beobachtet (Barone-Adesi et al. 2015; Gehring et al. 2013).

8.2.3 Kardiovaskuläre Erkrankungen

Obwohl Luftschadstoffe primär über die Atemwege in den Körper gelangen und damit zunächst ein Gesundheitsrisiko für die Lunge nahelegt, zeigt die Forschung der vergangenen Jahrzehnte, dass das größte attributable Risiko von Luftschadstoffen beim Herz-Kreislauf-System liegt. Die Auswirkungen reichen von kurzfristigen Gesundheitseinschränkungen, über Krankenhauseinweisungen bis hin zu Todesfällen. Diese können akut bei hohen Konzentrationen oder als Konsequenz von Langzeitbelastungen auftreten (WHO 2013).

Zu den wichtigsten europäischen *Kurzzeitstudien* im Hinblick auf Partikel in der Außenluft zählt die APHEA2-Studie. In dieser Studie mit Daten aus 29 europäischen Städten konnte ein linearer Zusammenhang zwischen einem Anstieg von PM_{10} und einer erhöhten Mortalität aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen gezeigt werden (Analitis et al. 2006). Darüber hinaus waren erhöhte Partikelkonzentrationen in der Luft mit vermehrten Krankenhausaufnahmen aufgrund kardiovaskulärer Erkrankungen assoziiert (Sunyer et al. 2003). Entsprechende große Studien in den USA lieferten ähnliche Ergebnisse (Samet et al. 2000).

Die mit Abstand umfassendste Kohortenstudie zum Zusammenhang zwischen der *Langzeit-Exposition* gegenüber Feinstaub und der Sterblichkeit ist die „American Cancer Society“ (ACS)-Studie (Krewski 2009; Pope et al. 2002). Für einen Anstieg von $PM_{2,5}$ wurden statistisch signifikant erhöhte relative Risiken für die Gesamtmortalität und kardiopulmonale Todesfälle gefunden. In der niederländischen „Netherlands Cohort Study-AIR“-Studie war das Wohnen an einer stark befahrenen Straße mit erhöhter kardiovaskulärer Sterblichkeit assoziiert (Beelen et al. 2008).

Epidemiologische Studien zu langfristigen Belastungen mit Feinstäuben (Jahre bis Jahrzehnte) zeigen erhebliche Folgen für die menschliche Gesundheit. Dabei sind die Zusammenhänge für die einzelnen kardiovaskulären Endpunkte unterschiedlich gut gesichert. Aus den veröffentlichten Studien lässt sich eine starke Evidenz für kardiovaskuläre Mortalität, Krankenhauseinweisungen, ischämische Herzkrankungen bzw. Herzinfarkt und Schlaganfall ableiten. Darüber hinaus kann die Evidenz für die kurzfristige Beeinflussung der vegetativen Balance als gesichert betrachtet werden. Für andere Gesundheitsendpunkte wie Herzinsuffizienz und luftschadstoffassoziierte Arrhythmogenese dagegen stellt sich die Evidenz derzeit als heterogen dar. Ein großer Teil der Studien unterstützt einen Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und einem akuten sowie langfristigen Anstieg des Blutdrucks, einer gestörten vaskulären Homöostase mit endothelialer Dysfunktion und einer Progression atherosklerotischer Veränderungen (Schulz et al. 2019b), jedoch nicht alle.

8.2.4 Mechanismen

Feinstaub wird mit der Atmung über die Atemwege in die Lunge transportiert. Insbesondere $PM_{2,5}$ -Feinstaub gelangt bis in die kleinsten Atemwege und Lungenbläschen. Ultrafeine Partikel können außerdem über den Blutkreislauf

zu anderen Organen gelangen. Zusammengefasst können die Partikel-Effekte durch folgende Mechanismen verursacht werden, die – allein oder gemeinsam – das Risiko für Herz-Kreislaufkrankheiten und kardiovaskuläre Ereignisse erhöhen (Brook et al. 2010; Rückerl et al. 2011):

1. Inhalierter Partikel können Entzündungsreaktionen und oxidativen Stress hervorrufen, die schließlich zu systemischen Entzündungen führen. Die Folge können unter anderem eine Störung der Endothelfunktion, die Bildung von Thromben und ein Fortschreiten atherosklerotischer Läsionen sein.
2. Lungengängige Partikel stimulieren Reflex-Rezeptoren auf der Oberfläche der Lungenbläschen und können somit die autonome Kontrolle des Herzens stören, was beispielsweise zu Herzrhythmusstörungen führen kann.
3. Insbesondere ultrafeine Partikel können in den Blutstrom gelangen, wo sie u. a. die Viskosität des Blutes beeinflussen oder zu lokalen Entzündungsreaktionen führen. So kann man im Blut nach Tagen mit hoher Feinstaubkonzentration erhöhte Entzündungswerte und eine verstärkte Gerinnungsneigung messen (Rückerl et al. 2016).

Man geht davon aus, dass direkte Effekte von Partikeln kardiovaskuläre Ereignisse innerhalb von wenigen Stunden auslösen. Daneben gibt es zunehmend Hinweise, dass Partikel die Entstehung und Progression der Arteriosklerose mit befördern, ein möglicher Mechanismus für die beobachteten Langzeiteffekte (Rückerl et al. 2011).

Kurzzeiteffekte bergen womöglich für gesunde Menschen eher kein Risiko, können aber als plausibler Vorläufer von fatalen Ereignissen bei suszeptiblen Patienten angesehen werden, während repetitive Expositionen bzw. eine hohe Langzeitbelastung zur Entwicklung von kardiovaskulären Erkrankungen beitragen können.

Trotz der guten Studienlage konnte bisher keine untere Wirkungsschwelle identifiziert werden. Das heißt, dass selbst bei niedriger Exposition die Wirkungen mit zunehmender Belastung ansteigen. Dies wird zurzeit in drei großen Studien mit jeweils mehreren Millionen Probanden in Europa, den USA und in Kanada untersucht. Erste Ergebnisse aus den USA zeigen eine lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung von $PM_{2,5}$ mit der Sterblichkeit bis hinunter zu einem Jahresmittelwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Dominici et al. 2019). Das bedeutet: Jede Reduktion der Belastung ist mit einem Gesundheitsgewinn verbunden.

8.3 Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen: Einfluss auf Morbidität und Mortalität

8.3.1 Klimawandel und Luftverschmutzung

Luftverschmutzung und Klimawandel sind eng miteinander verknüpft. Die Hauptursachen für den Klimawandel – der Abbau und das Verbrennen von fossilen Energieträgern – produzieren auch große Mengen an Luftschadstoffen. Andererseits tragen Luftschadstoffe zum Klimawandel bei, da sie Einfluss auf atmosphärische Prozesse haben. Je nach seiner Zusammensetzung kann Feinstaub eine kühlende oder wärmende Wirkung auf das lokale und globale Klima haben (Schmale u. Kuik 2013). Ruß beispielsweise, einer der Bestandteile von Feinstaub und das Ergebnis der unvollständigen Verbrennung von Kraftstoffen, absorbiert Solar- und Infrarotstrahlen in der Atmosphäre und hat damit eine wärmende Wirkung. Dies gilt auch für bodennahes Ozon.

Die zu erwartenden Klimaänderungen werden die zukünftige Entwicklung der Luftqualität in Deutschland und Europa vermehrt beeinflussen (Hendriks et al. 2016; Schultz et al. 2017).

Klimawandel und Ozon

Klimaprojektionen deuten z. B. an, dass die bodennahe Lufttemperatur in Deutschland zum Ende des 21. Jahrhunderts je nach Klimawandelszenario um 1 bis 4°C im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000 zunehmen könnte (Jacob et al. 2017). Auch die Häufigkeit und Dauer von Hitzewellen in Deutschland wird sich in Zukunft signifikant erhöhen, was bis zum Ende des 21. Jahrhunderts etwa zu einer Verdreifachung der Anzahl von Hitzewellentagen führen könnte (Zacharias u. Koppe 2015). Ein wärmeres Klima, zusammen mit Veränderungen der Niederschlags- und Windmuster, wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (wahrscheinlich) die mittleren Ozon-Konzentrationen an der Erdoberfläche im Sommer über Europa erhöhen (Doherty et al. 2017; Lacressonnière et al. 2016). Für den Fall, dass der globale Temperaturanstieg nicht auf 2°C beschränkt bleibt, sondern 3°C erreichen wird, wird für Europa ein signifikanter Anstieg der Ozonkonzentration relativ zum 2°C-Fall vorausgesagt (Fortems-Cheiney et al. 2017). Auch die Häufigkeit von sogenannten Ozon-Episoden wird zunehmen (Doherty et al. 2017).

Klimawandel und Feinstaub

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Größenfraktionen von Feinstaub sind bisher noch weniger verstanden. Aufgrund der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung von Partikeln und der Reaktionen dieser Komponenten auf meteorologische Faktoren sind die Auswirkungen der Meteorologie auf die PM-Konzentrationen sehr komplex und erschweren somit Vorhersagen (Mahmud et al. 2010). Die meisten Studien erwarten eine Abnahme von PM₁₀-Konzentrationen (Juda-Rezler et al. 2012; Lacressonnière et al. 2017), die u. a. auf eine Zunahme der Winterniederschläge, eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit oder Veränderungen der Windmuster zu-

rückzuführen sind. Für PM_{2,5}-Feinstaub wiederum wird in den meisten Studien eine leichte Zunahme der Konzentrationen erwartet (Lacressonnière et al. 2016; Park et al. 2020). In Bezug auf Feinstaub-Komponenten können höhere Temperaturen bzw. eine höhere Luftfeuchtigkeit z. B. sekundäre organische Aerosole und Sulfat-Aerosole erhöhen, aber Nitrate durch erhöhte Volatilität verringern (Cholakian et al. 2019). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die klimabedingten Veränderungen der PM-Konzentrationen in verschiedenen Regionen und Jahreszeiten sehr unterschiedlich ausfallen können (Juda-Rezler et al. 2012; Margaritis et al. 2014).

8.3.2 Gesundheitliche Wirkung des Zusammenspiels von hoher Lufttemperatur und Luftschadstoffen

Hohe Lufttemperaturen zusammen mit intensiver Sonneneinstrahlung begünstigen die Bildung bodennaher Ozonkonzentration. Zudem kann sich die Feinstaubbelastung durch Entstehung von sogenannten sekundären Aerosolen erhöhen (Augustin et al. 2017). Außerdem besteht an heißen Tagen eine geringe Luftzirkulation, daher können vor allem in den Städten erzeugte Luftschadstoffe nicht abgeführt werden und verbleiben in höherer Konzentration in der Luft (Doherty et al. 2017). Trotzdem wurden gesundheitliche Effekte von Wetterveränderungen sowie Luftqualität lange Zeit isoliert betrachtet.

Wechselwirkungen von kurzzeitiger Exposition gegenüber hohen Temperaturen und Ozon oder Feinstaub auf die Mortalität

So wurde zwar in epidemiologischen Studien zu akuten gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen in der Regel für Lufttemperatur als Störgröße adjustiert, eine mögliche Wirkungsänderung der Luftschadstoffe auf die

Mortalität durch die Lufttemperatur wurde aber häufig vernachlässigt (Li et al. 2017; Pickford et al. 2020). Die Mehrzahl der bislang veröffentlichten Studien konnte zeigen, dass hohe Temperaturen die Auswirkungen von Ozon oder Feinstaub auf die (ursachenspezifische) Mortalität verstärken (Li et al. 2017; Lou et al. 2019; Shi et al. 2020). Allerdings weisen einige Studien auch auf stärkere Effekte von Ozon und Feinstaub bei gleichzeitig niedrigeren Temperaturen hin bzw. zeigen keine Wirkungsänderung der Luftschadstoffe durch Temperatur (Lou et al. 2019).

Andersherum ist auch eine Wirkungsänderung der Lufttemperatur auf die Mortalität durch Luftschadstoffe möglich (Breitner et al. 2014; Lou et al. 2019; Scortichini et al. 2018). So konnte im europaweiten Projekt EuroHEAT gezeigt werden, dass das Sterberisiko durch Hitze durch gleichzeitig erhöhte Konzentrationen von Ozon und Feinstaub verstärkt wird (Analtis et al. 2014). Ältere Menschen sind in solchen Situationen besonders gefährdet.

In einer weiteren europäischen Studie konnte zudem gezeigt werden, dass sowohl hohe Lufttemperaturen die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Sterblichkeit an Herz-Kreislauf- und nicht-unfallbedingten Todesursachen modifizieren, als auch hohe Konzentrationen von Feinstaub, ultrafeinen Partikeln und Ozon den Effekt der Lufttemperatur verstärken (Chen et al. 2018).

Wechselwirkungen von kurzzeitiger Exposition gegenüber Lufttemperatur und Ozon oder Feinstaub auf die Morbidität

Es gibt bislang nur sehr wenige Studien, die interaktive Effekte bzw. Wirkungsänderungen auf Krankenhauseinweisungen oder andere Morbiditätspunkte untersuchten. So zeigten z.B. Studien aus Australien und China, dass sowohl hohe PM_{10} -Konzentrationen die Effekte von hohen Temperaturen auf kardiorespiratorische Krankenhauseinweisungen verstärkten

(Ren et al. 2006), als auch hohe Temperaturen die Auswirkungen von Feinstaub beeinflussten – bei hoher Temperatur waren die Partikeleffekte allgemein stärker (Huang et al. 2016; Ren u. Tong 2006). Auch für $PM_{2,5}$ -Feinstaub war das Risiko für respiratorische Krankenhauseinweisungen in Neuengland, USA, gerade an heißen Tagen erhöht (Yitshak-Sade et al. 2018).

Lepeule et al. (2018) untersuchten die Auswirkungen eines Temperaturanstiegs auf die Lungenfunktion in einer älteren Kohorte von Männern und fanden Hinweise auf eine mögliche Wechselwirkung durch Ruß (Lepeule et al. 2018). Darüber hinaus wurden in dieser Kohorte die Assoziationen zwischen Temperatur und Herzrate und Herzratenvariabilität bei gleichzeitig hohen Ozonkonzentrationen stärker (Ren et al. 2011). Weitere Studien fanden zudem Hinweise auf interaktive Effekte von Temperatur und Feinstaub bzw. Ozon auf Blutdruck (Wu et al. 2015) und Marker für die Endothelfunktion (Lanzinger et al. 2014).

Langzeit-Assoziationen zwischen Feinstaub und Mortalität und Wirkungsänderung durch Temperatur

Zu längerfristigen (chronischen) gesundheitlichen Wirkungen des Zusammenspiels von Langzeitbelastung durch Luftschadstoffe und Lufttemperatur gibt es bislang nur sehr wenige Studien. Angesichts des sich wandelnden Klimas ist es aber von Bedeutung, auch die längerfristigen Auswirkungen, wie jährliche Durchschnittstemperaturen, und ihr Zusammenspiel mit einer chronischen Luftschadstoffbelastung zu verstehen.

In einer Studie zur Assoziation zwischen chronischer Feinstaubbelastung und Mortalität in 207 amerikanischen Städten zeigte sich, dass die $PM_{2,5}$ -Effekte in jenen Städten besonders ausgeprägt waren, in denen es im Jahresdurchschnitt wärmer war (Kioumourtzoglou et al. 2016). Ähnliche Effekte wurden in weiteren US-

amerikanischen Studien beschrieben (Lim et al. 2017; Wang et al. 2017).

Projektionen von gesundheitlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit Luftverschmutzung und Temperaturänderungen

Die Vorhersage der gesundheitlichen Auswirkungen zukünftiger Luftverschmutzung unter dem Klimawandel konzentrierte sich bislang hauptsächlich auf Ozon und in geringerem Ausmaß auf $PM_{2,5}$ (Lou et al. 2019; Orru et al. 2017). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch den Klimawandel die mit Luftschadstoffen verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen weiter verstärkt werden. Zwar könnte es bis zum Ende des 21. Jahrhunderts aufgrund von Emissionsminderungen einen Rückgang in der vorhergesagten Mortalität geben (Geels et al. 2015; Silva et al. 2017), dieser wird jedoch aufgrund der Bevölkerungsalterung und dem damit verbundenen höheren Anteil an suszeptiblen Personen aufgewogen werden (Lee et al. 2017). Jedoch verwendete bislang nur eine Studie interaktive Effekte von Temperatur und Ozon für die Projektionen (Knowlton et al. 2008).

8.4 Präventions- und Schutzmaßnahmen

Eine große Anzahl von Publikationen zeigt, dass die Wirkung von Hitze und Hitzewellen zwischen Populationen und über verschiedene Bevölkerungsuntergruppen hinweg sehr heterogen ausfällt. Die Hauptdeterminanten dieser unterschiedlichen Verläufe sind zum einen das Expositionsniveau (z.B. Häufigkeit, Dauer und Intensität des Wetterereignisses) und zum anderen die Empfindlichkeit (Suszeptibilität) der Bevölkerung sowie ihre Anpassungsfähigkeit (Field et al. 2012). Insbesondere hängt die Hitzeempfindlichkeit von Personen von der Effizienz ihres thermoregulatorischen Systems ab. Dieses ist z.B. bei Säuglingen, Schwangeren und

Menschen mit chronischen Krankheiten und Behinderungen beeinträchtigt, insbesondere aber bei älteren Menschen und bei Menschen mit niedrigem sozioökonomischen Status bzw. schwacher sozialer Unterstützung. In den Industrieländern, also auch in Deutschland, wird die fortschreitende Alterung der Bevölkerung und die zunehmende Verbreitung chronischer Krankheiten den Anteil der gefährdeten Bevölkerung im Zusammenhang mit Hitzewellen in folgedessen erhöhen (McMichael et al. 2008).

Präventions- und Schutzmaßnahmen beeinflussen direkt und indirekt das Bewusstsein, die Bereitschaft, die Wachsamkeit sowie die Suszeptibilität und Adaptationsfähigkeit gegenüber Hitze auf individueller und gemeinschaftlicher Ebene. Viele Städte entwickelten bereits Hitze-Aktionspläne zum Risikomanagement (Harlan u. Ruddell 2011), die Strategien wie Warnsysteme, Echtzeitüberwachungssysteme und vor allem die Identifizierung besonders gefährdeter bzw. schutzbedürftiger Personen in der Bevölkerung beinhalten. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel haben somit zudem das Potenzial, gesellschaftliche Ungleichheiten abzubauen (Boeckmann u. Zeeb 2014).

Man unterscheidet dabei Maßnahmen (Michelozzi et al. 2014), die

- das Bewusstsein und die Bereitschaft beeinflussen, z.B. Informationskampagnen und Bildungsprogramme,
- die Suszeptibilität beeinflussen, z.B. Bereitstellung und Infrastruktur von Gesundheits- und Sozialdiensten, oder
- die Anpassungsfähigkeit beeinflussen, z.B. Arbeitsplatzinterventionen, Interventionen zur Kühlung, langfristige Eingriffe in den Städten (z.B. Verbesserung der Wohnqualität oder des städtischen Mikroklimas).

Diese Maßnahmen können dabei auf sehr unterschiedlichen Ebenen ablaufen, wie z.B. in den Gemeinden, in der ärztlichen Grundversorgung, in der Heimpflege, in der Krankenhauspflege und in der Sozialhilfe.

Externe Faktoren wie sozioökonomische Bedingungen, demografische Trends, Klimawandel und Veränderungen in den Luftschadstoffen können Störfaktoren oder Modifikatoren der Wirkweise dieser Maßnahmen sein. Darüber hinaus wird bei einigen Maßnahmen das kurzfristig positive Ergebnis langfristig durch einen negativen Effekt „ausgeglichen“. So kann der positive Effekt, der sich aus dem Einsatz von Klimaanlage (siehe Interventionen zur Kühlung, s. Tab. 1) ergibt (Barreca et al. 2016), durch den negativen Effekt aufgewogen werden, dass Klimaanlage auch zu Emissionen beitragen, die wiederum den Klimawandel beschleunigen (Farbotko u. Waite 2011). Dies ist der Grund, warum im Kontext des Klimawandels nicht nur Anpassungsmaßnahmen, sondern auch Minderungsmaßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen eingeführt werden sollten.

Einschränkungen und Hindernisse für die Sicherung der öffentlichen Gesundheit bestehen in der Unsicherheit hinsichtlich des zukünftigen Klimas und der sozioökonomischen Bedingungen sowie finanzieller, technologischer, institutioneller, sozialer und individueller kognitiver Grenzen. Insofern müssen jeweils die gesundheitlichen Vorteile von Minderungsstrategien ermittelt und kosteneffiziente Anpassungsmöglichkeiten für die öffentliche Gesundheit bewertet werden (Huang et al. 2011). Studien, die auf Klimaprojektionen basieren, weisen auf einen erheblichen Anstieg der hitzebedingten Mortalität und Morbidität in der Zukunft hin, während Beobachtungsstudien, die auf historischen Klima- und Gesundheitsdaten basieren, eine Abnahme der negativen Auswirkungen während der jüngsten Erwärmung zeigen (Hondula et al. 2015). Die Diskrepanz zwischen den beiden Studiengruppen besteht im Allgemeinen darin, wie gut und wie schnell sich Menschen an Klimaveränderungen anpassen können und wie Anpassungen quantifiziert werden.

In mehreren Studien wurde zudem festgestellt, dass nach der Einführung von Hitze-

warnsystemen weniger Menschen an übermäßiger Hitze starben und auch die Nachfrage nach Krankenwägen zurückging (Toloo et al. 2013). In Studien zur Wahrnehmung des öffentlichen Risikos waren sich die meisten Befragten bewusst, wann eine extreme Hitzeepisode auftrat. Sie änderten jedoch nicht unbedingt ihr Verhalten, hauptsächlich aufgrund mangelnder Selbstwahrnehmung als schutzbedürftige Person und Verwirrung in Bezug auf die geeignetsten Maßnahmen. Somit besteht weiterhin Besorgnis darüber, ob die am stärksten gefährdeten Gruppen wie ältere Menschen und Obdachlose in diesen Programmen und Aktionen angemessen erreicht werden können (Basil u. Cole 2010).

Tabelle 1 stellt die Zielgruppen und Empfehlungen nach Lowe et al. (2011) dar.

In Bezug auf negative Luftschadstoffeinflüsse können bestimmte Verhaltensweisen gesundheitliche Schäden mindern. So ist es förderlich, Lunge und Herz-Kreislauf-System durch regelmäßige körperliche Betätigung (z.B. Radfahren oder Gehen) gesund zu erhalten. Die Ergebnisse von Studien, die die positiven Aspekte der körperlichen Aktivität gegenüber den negativen Aspekten der höheren Luftschadstoff-Exposition abwägen, zeigen bei gesunden Erwachsenen positive Auswirkungen auf die Lungenfunktion, selbst in einer stärker mit Luftschadstoffen belasteten Umgebung (Kubesch et al. 2015), wobei sich die positiven Effekte mit zunehmendem Gehalt an Ruß in der Außenluft verringerten (Laeremans et al. 2018). Auch für kardiovaskuläre Erkrankungen, Krebserkrankungen oder Demenz wird ein Überwiegen der positiven Effekte prognostiziert (Götschi et al. 2015). Zudem bringt ein Wechsel auf aktiven Transport (Radfahren oder Gehen) weitere Co-Benefits wie eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen und eine Verbesserung der Luftqualität, was auf lange Sicht der Gesundheit der gesamten Bevölkerung zugute kommt.

Da Partikel oxidativen Stress sowie Entzündungsreaktionen auslösen können (Schulz et

Tab. 1 Handlungsebenen und empfohlene Aktivitäten (nach Lowe et al. 2011)

Handlungsebene/ Zielgruppe	Aktivitäten/Empfehlungen
Individuum	Hitzevermeidung, Begrenzen von (körperlichen) Outdoor-Aktivitäten, Tragen von lockerer und heller Kleidung, Flüssigkeitszufuhr, Kühlung der Wohn- und Schlafräume, Abkühlung des Körpers (z.B. durch Aufenthalt in klimatisierten Räumen/Gebäuden), Hilfe/Unterstützung für schutzbedürftige Personen, Aufsuchen von Beratungsstellen bei gesundheitlichen Problemen, Aufsuchen von Beratung zur Änderung des Medikamentengebrauchs, Beratung zur Lagerung von Medikamenten, Beachten von Regeln zur Zubereitung von Lebensmitteln, Zufuhr von Elektrolyten, Schutz vor Sonnenbrand, Information über prognostizierte Außentemperatur, Überwachung der Raumtemperatur, Verlagerung von Outdoor-Aktivitäten eher auf kühlere Stunden/Nacht, Einhaltung vernünftiger Arbeitszeiten, Aufenthalt im Schatten, Abschaltung nicht verwendeter elektrischer Geräte
Akteure des Gesundheitswesens (z.B. Pflegepersonal, Ärzte), Einrichtungen der Gesundheitsversorgung	Identifizierung und Überwachung von gefährdeten Personen, Bereitstellung von Klimaanlage oder gemeinschaftlichen Kühlräumen, Installation von Thermometern zur Überwachung der Raumtemperatur, häufiger Wechsel der Bettwäsche, angemessene Lagerung von Nahrungsmitteln, angemessene Flüssigkeitszufuhr, Vermeidung übermäßiger Abkühlung (< 28°C), Vermeidung von Kunststoffkontinenzhosen bzw. -polstern, regelmäßiges Wiegen (Gewichtsverlust ist ein Maß für Dehydration), Gespräch über Anpassungen der Medikamente mit dem Hausarzt vor der Hitzewelle, Verlagerung von Physiotherapieplänen auf außerhalb von 11–16 Uhr, Zusammenarbeit mit der Familie und den entsprechenden Behörden am Wohnort der schutzbedürftigen Personen strukturelle Maßnahmen: Beschattung, Anlage von Begrünung, Wasserdächern, Gräsern und Vegetation
öffentliche Ebene: Gemeinde, Stadt, Kommune	Auflistung, Angebot und Überwachung öffentlicher Kühlbereiche, Pflege von Listen mit schutzbedürftigen Personen, Überwachung gefährdeter Personen, Kontaktaufnahme zu identifizierten gefährdeten Personen, Erkennung der Schutz- bzw. Wasserbedürfnisse von Obdachlosen, Unterstützung des Transports gefährdeter Personen, Bereitstellung einer Hotline für gesundheitliche Fragen und Beratung, Entwicklung bzw. Bereitstellung eines Evakuierungsplans, Vorbereitung auf Stromausfälle

al. 2019b), ist denkbar, dass z.B. Omega-3-Fettsäuren oxidative Schäden begrenzen. Ein aktueller Review (Barthelemy et al. 2020) zeigte klare Evidenz dafür, dass eine Aufnahme von Antioxidantien über erhöhten Obst- und Gemüsekonsum die mit Luftschadstoffen verbundenen Auswirkungen auf die Gesundheit mildert. Hingegen fanden die Autoren widersprüchliche Belege für antioxidative Nahrungsergänzungsmittel, einschließlich Fischöl, Olivenöl und Vitamin-C- und -E-Zusätze.

Das Zusammenspiel von Hitze und Luftschadstoffen macht es dem Einzelnen oft schwerer, sich in der jeweiligen Situation für

die bestmöglichen präventiven Maßnahmen zu entscheiden. Zum Beispiel sollte bei Hitze hauptsächlich in den kühleren Morgen- und Abendstunden gelüftet werden, wohingegen man bei hohen Luftschadstoffen darauf achten muss, die Lüftungszeit in die verkehrsarmen Stunden zu legen und, wenn möglich, nicht unbedingt die Fenster zur Hauptstraße zu öffnen. Auch sollte bei Hitze auf belastende körperliche Aktivität verzichtet werden, was wiederum im möglichen Gegensatz zur oben genannten Empfehlung zur Minderung der negativen Luftschadstoffeffekte durch regelmäßige körperliche Aktivität steht. Auch die

Klimaanlage als Ausweg bei starker Hitzebelastung bringt gleichzeitig weitere Emissionen mit sich, die wiederum die Luftqualität verschlechtern und den Klimawandel befördern. Daher gilt es, diejenigen Maßnahmen herauszufiltern, die nicht nur einen Aspekt der Umweltbelastungen berücksichtigen, sondern auch Benefits für gleichzeitig bestehende Umwelttrisiken bringen.

Literatur

- Adam M, Schikowski T, Carsin AE, Cai Y, Jacquemin B, Sanchez M, et al. (2015) Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. *Eur Respir J* 45, 38–50
- Analitis A, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Samoli E, Nikoloulopoulos AK, Petasakis Y, et al. (2006) Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality. *Epidemiology* 17, 230–3
- Analitis A, Michelozzi P, D'Ippoliti D, De'Donato F, Menne B, Mathies F, et al. (2014) Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology* 25, 15–22
- Augustin J, Sauerborn R, Burkart K, Endlicher W, Jochner S, Koppe C (2017) Gesundheit. In: Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöller S (eds) *Klimawandel in Deutschland*. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg
- Barone-Adesi F, Dent JE, Dajnak D, Beevers S, Anderson HR, Kelly FJ, et al. (2015) Long-Term Exposure to Primary Traffic Pollutants and Lung Function in Children: Cross-Sectional Study and Meta-Analysis. *PLoS One* 10, e0142565
- Barreca A, Clay K, Deschenes O, Greenstone M, Shapiro JS (2016) Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the twentieth century. *J Polit Econ* 124, 105–159
- Barthelemy J, Sanchez K, Miller MR, Khreis H (2020) New Opportunities to Mitigate the Burden of Disease Caused by Traffic Related Air Pollution: Antioxidant-Rich Diets and Supplements. *Int J Environ Res Public Health* 17, 630
- Bassil KL, Cole DC (2010) Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: a structured review. *Int J Environ Res Public Health* 7, 991–1001
- Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, et al. (2008) Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 116, 196–202
- Boeckmann M, Zeeb H (2014) Using a social justice and health framework to assess European climate change adaptation strategies. *Int J Environ Res Public Health* 11, 12389–411
- Breitner S, Wolf K, Devlin RB, Diaz-Sanchez D, Peters A, Schneider A (2014) 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* 485–486, 49–61
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. (2010) Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 121, 2331–78
- Chen K, Wolf K, Breitner S, Gasparrini A, Stafoggia M, Samoli E, et al. (2018) Two-way effect modifications of air pollution and air temperature on total natural and cardiovascular mortality in eight European urban areas. *Environ Int* 116, 186–196
- Cholakian A, Colette A, Coll I, Ciarelli G, Beekmann M (2019) Future climatic drivers and their effect on PM10 components in Europe and the Mediterranean Sea. *Atmos Chem Phys* 19, 4459–4484
- Doherty RM, Heal MR, O'Connor FM (2017) Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environ Health* 16, 118
- Dominici F, Schwartz J, Di Q, Braun D, Choirat C, Zanobetti A (2019) Assessing Adverse Health Effects of Long-Term Exposure to Low Levels of Ambient Air Pollution: Phase 1. *Res Rep Health Eff Inst* 200, 1–51
- Farbotko C, Waite G (2011) Residential air-conditioning and climate change: voices of the vulnerable. *Health Promot J Austr* 22, 13–15
- Field CB, Barros V, Stocker TF, Dahe Q (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press
- Fortems-Cheiney A, Foret G, Siour G, Vautard R, Szopa S, Dufour G, et al. (2017) A 3°C global RCP8.5 emission trajectory cancels benefits of European emission reductions on air quality. *Nature Communications* 8, 89
- Geels C, Andersson C, Hänninen O, Lansø AS, Schwarze PE, Skjøth CA, Brandt J (2015) Future premature mortality due to O₃, secondary inorganic aerosols and primary PM in Europe—sensitivity to changes in climate, anthropogenic emissions, population and building stock. *Int J Environ Res Public Health* 12, 2837–2869
- Gehring U, Gruzjeva O, Agius RM, Beelen R, Custovic A, Cyrus J, et al. (2013) Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 121, 1357–64
- Götschi T, Tainio M, Maizlish N, Schwanen T, Goodman A, Woodcock J (2015) Contrasts in active transport behaviour across four countries: how do they translate into public health benefits? *Prev Med* 74, 42–8
- Harlan SL, Ruddell DM (2011) Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Curr Opin Environ Sustain* 3, 126–134
- Hendriks C, Forsell N, Kieseewetter G, Schaap M, Schöpp W (2016) Ozone concentrations and damage for realistic future European climate and air quality scenarios. *Atmos Environ* 144, 208–219

- Hondula DM, Balling RC, Vanos JK, Georgescu M (2015) Rising temperatures, human health, and the role of adaptation. *Curr Clim Change Rep* 1, 144–154
- Huang C, Vaneckova P, Wang X, Fitzgerald G, Guo Y, Tong S (2011) Constraints and barriers to public health adaptation to climate change: a review of the literature. *Am J Prev Med* 40, 183–90
- Huang F, Luo Y, Guo Y, Tao L, Xu Q, Wang C, et al. (2016) Particulate Matter and Hospital Admissions for Stroke in Beijing, China: Modification Effects by Ambient Temperature. *J Am Heart Assoc* 5, e003437
- Int Panis L, Provost EB, Cox B, Louwies T, Laeremans M, Standaert A, et al. (2017) Short-term air pollution exposure decreases lung function: a repeated measures study in healthy adults. *Environ Health* 16, 60
- Jacob D, Kottmeier C, Petersen J, Rechid D, Teichmann C (2017) Regionale Klimamodellierung. In: Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöllner S (eds) *Klimawandel in Deutschland*. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg
- Juda-Rezler K, Reizer M, Huszar P, Krüger BC, Zanis P, Syrakov D, et al. (2012) Modelling the effects of climate change on air quality over Central and Eastern Europe: concept, evaluation and projections. *Clim Res* 53, 179–203
- Kioumourtzoglou M-A, Schwartz J, James P, Dominici F, Zanobetti A (2016) PM_{2.5} and Mortality in 207 US Cities: Modification by Temperature and City Characteristics. *Epidemiology* 27, 221–227
- Knowlton K, Hogrefe C, Lynn B, Rosenzweig C, Rosenthal J, Kinney PL (2008) Impacts of Heat and Ozone on Mortality Risk in the New York City Metropolitan Region Under a Changing Climate. *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health* 143–160
- Krewski D (2009) Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *N Engl J Med* 360, 413–5
- Kubesch NJ, de Nazelle A, Westerdahl D, Martinez D, Carrasco-Turigas G, Bouso L, et al. (2015) Respiratory and inflammatory responses to short-term exposure to traffic-related air pollution with and without moderate physical activity. *Occup Environ Med* 72, 284–93
- Lacressonnière G, Foret G, Beekmann M, Siour G, Engardt M, Gauss M, et al. (2016) Impacts of regional climate change on air quality projections and associated uncertainties. *Clim Change* 136, 309–324
- Lacressonnière G, Watson L, Gauss M, Engardt M, Andersson C, Beekmann M, et al. (2017) Particulate matter air pollution in Europe in a +2°C warming world. *Atmos Environ* 154, 129–140
- Laeremans M, Dons E, Avila-Palencia I, Carrasco-Turigas G, Orjuela-Mendoza JP, Anaya-Boig E, et al. (2018) Black Carbon Reduces the Beneficial Effect of Physical Activity on Lung Function. *Med Sci Sports Exerc* 50, 1875–1881
- Lanzinger S, Breitner S, Neas L, Cascio W, Diaz-Sanchez D, Hinderliter A, et al. (2014) The impact of decreases in air temperature and increases in ozone on markers of endothelial function in individuals having type-2 diabetes. *Environ Res* 134, 331–338
- Lee JY, Lee SH, Hong S-C, Kim H (2017) Projecting future summer mortality due to ambient ozone concentration and temperature changes. *Atmos Environ* 156, 88–94
- Lepeule J, Laden F, Dockery D, Schwartz J (2012) Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. *Environ Health Perspect* 120, 965–70
- Lepeule J, Litonjua AA, Gasparrini A, Koutrakis P, Sparrow D, Vokonas PS, Schwartz J (2018) Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. *Environ Res* 165, 110–117
- Li J, Woodward A, Hou XY, Zhu T, Zhang J, Brown H, et al. (2017) Modification of the effects of air pollutants on mortality by temperature: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ* 575, 1556–1570
- Lim C, Yinon L, Ahn J, Hayes R, Shao Y, Thurston GD (2017) Effect Modification of Long-Term PM_{2.5}-Mortality Relationship by Temperature in the US. *American Thoracic Society 2017 International Conference abstract*.
- Lou J, Wu Y, Liu P, Kota SH, Huang L (2019) Health Effects of Climate Change Through Temperature and Air Pollution. *Curr Pollut Rep* 5, 144–158
- Lowe D, Ebi KL, Forsberg B (2011) Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. *Int J Environ Res Public Health* 8, 4623–48
- Mahmud A, Hixson M, Hu J, Zhao Z, Chen SH, Kleeman MJ (2010) Climate impact on airborne particulate matter concentrations in California using seven year analysis periods. *Atmos Chem Phys* 10, 11097–11114
- McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, et al. (2008) International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHERM' project. *Int J Epidemiol* 37, 1121–31
- Megaritis AG, Fountoukis C, Charalampidis PE, Denier van der Gon HAC, Pilinis C, Pandis SN (2014) Linking climate and air quality over Europe: effects of meteorology on PM_{2.5} concentrations. *Atmos Chem Phys* 14, 10283–10298
- Michelozzi P, Bargagli AM, Vecchi S, De Sario M, Schifano P, Davoli M (2014) Interventions for reducing adverse health effects of high temperature and heatwaves. *Cochrane Database of Systematic Reviews*
- Orru H, Ebi KL, Forsberg B (2017) The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Curr Environ Health Rep* 4, 504–513
- Park S, Allen RJ, Lim CH (2020) A likely increase in fine particulate matter and premature mortality under future climate change. *Air Qual Atmos Hlth* 13, 143–151
- Pickford R, Kraus U, Frank U, Breitner S, Markevych I, Schneider A (2020) Kombinierte Effekte verschiedener Umweltfaktoren auf die Gesundheit: Luftschadstoffe, Temperatur, Grünflächen, Pollen und Lärm. *Bundesgesundheitsblatt* 63, 962–971
- Pope CA, 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132–41

- Ren C, O'Neill MS, Park SK, Sparrow D, Vokonas P, Schwartz J (2011) Ambient temperature, air pollution, and heart rate variability in an aging population. *Am J Epidemiol* 173, 1013–21
- Ren C, Tong S (2006) Temperature modifies the health effects of particulate matter in Brisbane, Australia. *Int J Biometeorol* 51, 87–96
- Ren C, Williams GM, Tong S (2006) Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environ Health Perspect* 114, 1690–6
- Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrys J, Peters A (2011) Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol* 23, 555–92
- Rückerl R, Schneider A, Hampel R, Breitner S, Cyrys J, Kraus U, et al. (2016) Association of novel metrics of particulate matter with vascular markers of inflammation and coagulation in susceptible populations – results from a panel study. *Environ Res* 150, 337–347
- Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Dockery DW, et al. (2000) The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Res Rep Health Eff Inst* 94, 5–70; discussion 71–9
- Schmale J, Kuik F (2013) Gefahr für die Gesundheit und Klima: Kurzlebige Klimawirksame Schadstoffe. Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) Potsdam
- Schultz M, Klemp D, Wahner A (2017) Luftqualität. In: Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöller S (eds) *Klimawandel in Deutschland*. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg
- Schulz H, Karrasch S, Bölke G, Cyrys J, Hornberg C, Pickford R, et al. (2019a) Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit–Teil I. *Pneumologie* 73, 288–305
- Schulz H, Karrasch S, Bölke G, Cyrys J, Hornberg C, Pickford R, et al. (2019b) Atmen: Luftschadstoffe und Gesundheit–Teil III. *Pneumologie* 73, 407–429
- Scortichini M, De Sario M, de' Donato FK, Davoli M, Michelozzi P, Stafoggia M (2018) Short-Term Effects of Heat on Mortality and Effect Modification by Air Pollution in 25 Italian Cities. *Int J Environ Res Public Health* 15,
- Shi W, Sun Q, Du P, Tang S, Chen C, Sun Z, et al. (2020) Modification Effects of Temperature on the Ozone – Mortality Relationship: A Nationwide Multicounty Study in China. *Environ Sci Technol* 54, 2859–2868
- Silva RA, West JJ, Lamarque J-F, Shindell DT, Collins WJ, Faluvegi G, et al. (2017) Future global mortality from changes in air pollution attributable to climate change. *Nat Clim Chang* 7, 647–651
- Sunyer J, Ballester F, Tertre AL, Atkinson R, Ayres JG, Forastiere F, et al. (2003) The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The APHEA-II study). *Eur Heart J* 24, 752–60
- Toloo GS, Fitzgerald G, Aitken P, Verrall K, Tong S (2013) Are heat warning systems effective? *Environ Health* 12, 27
- Wang Y, Shi L, Lee M, Liu P, Di Q, Zanobetti A, Schwartz JD (2017) Long-term Exposure to PM_{2.5} and Mortality Among Older Adults in the Southeastern US. *Epidemiology* 28, 207–214
- Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al. (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. *Lancet* 394, 1836–1878
- WHO (2013) Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP. Technical Report. WHO Regional Office for Europe: Copenhagen. p. 309.
- Wu S, Deng F, Huang J, Wang X, Qin Y, Zheng C, et al. (2015) Does ambient temperature interact with air pollution to alter blood pressure? A repeated-measure study in healthy adults. *J Hypertens* 33, 2414–21
- Yitshak-Sade M, Bobb JF, Schwartz JD, Kloog I, Zanobetti A (2018) The association between short and long-term exposure to PM_{2.5} and temperature and hospital admissions in New England and the synergistic effect of the short-term exposures. *Sci Total Environ* 639, 868–875
- Zacharias S, Koppe C (2015) Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau



Dr. Susanne Breitner

Nach einem Studium der Statistik arbeitete sie zunächst an der Ludwig-Maximilians-Universität München und promovierte dort 2007 ebenfalls im Fach Statistik. 2005 wechselte sie zum Helmholtz Zentrum München, wo sie als Doktorandin, Postdoktorandin und Senior-Wissenschaftlerin arbeitete. Seit 2018 ist sie am IBE-Lehrstuhl für Epidemiologie der LMU als Senior-Wissenschaftlerin tätig.



Dr. Regina Pickford (geb. Rückerl)

Nach einem Studium der Ökotoxikologie arbeitete sie am Helmholtz Zentrum München. Parallel dazu absolvierte sie 2003 ein Postgraduiertenstudium zum Master of Epidemiology an der Ludwig-Maximilians-Universität München, um dort anschließend im Fach Humanbiologie zu promovieren. Sie ist am Helmholtz Zentrum München als Postdoktorandin am Institut für Epidemiologie beschäftigt.



Dr. Alexandra Schneider

Nach einem Studium der Meteorologie und einem Postgraduiertenstudium zum Master of Public Health arbeitete sie zunächst an der Ludwig-Maximilians-Universität München, um dort anschließend im Fach Humanbiologie zu promovieren. Seit 2010 leitet sie ihre eigene Arbeitsgruppe „Environmental Risks“ am Institut für Epidemiologie des Helmholtz Zentrums München.

9 Klimawandelbedingte Veränderungen in der UV-Exposition: Herausforderungen für die Prävention UV-bedingter Hauterkrankungen

Jobst Augustin, Brigitte Stephan und Matthias Augustin

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-9, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

UV-Strahlung (UV) kann positive, aber auch negative Effekte auf die Gesundheit, speziell auf die Haut haben. Positiv insofern, als dass UV beispielsweise zur Behandlung von chronisch entzündlichen Hauterkrankungen wie Psoriasis oder Neurodermitis verwendet wird und auch die Vitamin-D-Produktion im Körper anregt. Eine zu intensive Bestrahlung kann allerdings kurz- (z.B. Sonnenbrand) und langfristige (z.B. Hautkrebs) Hautschäden verursachen. Die UV-Strahlungsintensität unterliegt indirekt dem Einfluss des Klimawandels, da sie von Faktoren wie dem stratosphärischen Ozon oder der Bewölkung beeinflusst wird. Prognosen zur zukünftigen UV-Strahlungsintensität sind je nach Region unterschiedlich. Für Mitteleuropa wird bis Mitte des Jahrhunderts von einem leichten Rückgang ausgegangen. Eventuell nimmt aber die Häufigkeit kurzfristiger UV-Extremereignisse zu. Eine möglicherweise hohe Bedeutung nimmt die Veränderung des UV-Expositionsverhaltens ein, das in Teilen auch dem Einfluss klimawandelbedingter Faktoren (z.B. gefühlte Temperatur, Niederschlag) unterliegt. Aufgrund von Unsicherheiten in Bezug auf den Ozonhaushalt sind bislang jedoch keine gesicherten Prognosen zum Einfluss des Klimawandels auf Hautkrankheiten und deren Versorgung möglich. Auch in Zukunft wird jedoch einem verantwortungsvollen Umgang mit UV-Strahlung

sowie präventiven Maßnahmen eine hohe Bedeutung zukommen.

UV radiation (UV) has positive and negative effects on health and in particular skin. Positive as UV is used, for example, to treat chronic inflammatory skin diseases such as psoriasis or neurodermatitis and it also stimulates vitamin D production in the body. However, too intensive irradiation can cause short-term (e.g., sunburn) and long-term (e.g., skin cancer) skin damage. UV radiation intensity is also indirectly subject to the influence of climate change, as it is related to factors such as stratospheric ozone or cloud cover. Forecasts of future UV radiation intensity vary from region to region. For Central Europe a slight decline is expected by the middle of the century. However, the frequency of short-term extreme UV events may increase. The change in UV exposure behaviour, which is also partly subject to the influence of climate change-related factors (e.g., perceived temperature, precipitation), may be of great importance. Due to uncertainties with regard to ozone levels, however, it is not yet possible to make reliable predictions about the influence of climate change on skin diseases and their treatment. However, responsible handling of UV radiation and preventive measures will continue to be of great importance in the future.

9.1 Einleitung

Obwohl der Mensch Sonne für seine Vitalität, zur Anregung der Vitamin-D-Produktion wie auch zur seelischen Ausgeglichenheit benötigt, ist eine übermäßige Sonnenbestrahlung besonders für die Haut schädlich. Ultraviolette (UV-) Strahlung kann in Abhängigkeit von Wellenlänge und Dosis positive oder negative Effekte auf die Haut haben. So wird sie aufgrund ihres anti-entzündlichen Einflusses zur Behandlung von chronisch entzündlichen Hauterkrankungen wie Psoriasis oder Neurodermitis eingesetzt. Aufgrund ihrer juckreizhemmenden Wirkung wird sie darüber hinaus bei schwer therapierbaren Erkrankungen wie der Prurigo genutzt. Andererseits kann UV-Licht Hauterkrankungen wie Lichtdermatosen oder Photoallergien induzieren oder verstärken, durch seine physikalische Wirkung akute Verbrennungen und Entzündungen wie bei Sonnenbrand verursachen oder auch langfristige Schäden anrichten, die das Hautorgan nachhaltig verändern (Lichtschwielen, Keratosen, Pigmentstörungen) und zur Entwicklung von Hautkrebs führen können.

Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit ist auch die UV-Strahlung von Bedeutung (z.B. Augustin et al. 2017). Dabei stehen insbesondere die Fragen im Vordergrund, ob und wie sich die UV-Strahlung im Zuge des Klimawandels verändert, welche Konsequenz dies für die Entwicklung UV-assoziiierter (Haut-)Erkrankungen hat und welche präventiven Maßnahmen von Relevanz sind. Bislang wenig berücksichtigt wird die Frage, wie sich möglicherweise der zukünftige Bedarf an medizinischer Versorgung von Hauterkrankungen verändert.

Im Rahmen dieses Beitrags wird der Einfluss des Klimawandels auf UV-assoziierte Hauterkrankungen thematisiert. Dabei stehen die Exposition gegenüber UV-Strahlung, Aspekte der Prävention sowie die dermatologische Versorgung im Fokus.

9.2 UV-Strahlung und UV-strahlungs-assoziierte Hauterkrankungen

Die ultraviolette Strahlung ist Teil des elektromagnetischen Spektrums und wird in die drei Wellenlängenbereiche UV-C (100–280 nm), UV-B (280–315 nm) und UV-A (315–400 nm) eingeteilt. Diese Einteilung basiert zum einen auf der Beeinflussung durch das stratosphärische Ozon (Ozonschicht) und zum anderen auf der strahlenbiologischen Wirkung auf den menschlichen Körper. Beim Durchgang durch die Atmosphäre unterliegt die Strahlung der Absorption, Reflexion und Streuung und wird dadurch in Abhängigkeit von der Wellenlänge geschwächt. Den wichtigsten Einfluss auf das UV hat das stratosphärische Ozon, das das kurzwellige UV-C in der Atmosphäre nahezu vollständig herausfiltert. Ähnlich ist es beim UV-B, allerdings ist hier die stratosphärische Ozonkonzentration bzw. Ozonschichtdicke von hoher Bedeutung. Bereits eine kleine Abnahme des Ozons sorgt dafür, dass vermehrt UV-B die Erdoberfläche erreicht. Neben Ozon haben weitere Faktoren einen Einfluss auf die Strahlungsintensität. Dazu gehören Aerosole, d.h. Partikel (z.B. Ruß) in der Luft, die Bewölkung, die Albedo (Reflexionsvermögen der Erdoberfläche), der Sonnenstand in Abhängigkeit von der geografischen Breite, Jahres- und Tageszeit sowie die Höhe über dem Meeresspiegel. Aufgrund des Zusammenhangs der Bestrahlungsstärke mit meteorologischen und geografischen Faktoren lässt sich in Deutschland sowohl ein Nord-Süd-Gradient in der UV-Bestrahlungsstärke als auch in der UV-Jahresdosis finden, mit im Mittel höheren Werten im Süden und geringeren Werten im Norden. Hinzu kommt die Topografie (Mittelgebirge, Küstennähe), die Einfluss auf die Bewölkungssituation und damit auch Sonnenscheindauer hat. Das hat unter anderem zur Folge, dass die Bestrahlungsstärke im Norden zwar geringer ist als im Süden, jedoch eine statistisch höhere Sonnenscheindauer (vor allem auf den vorgelagerten Inseln von Nord- und Ostsee) vorliegt (Augustin et al. 2018a).

Das UV-A und vor allem das UV-B sind aufgrund der biologischen Wirkung von besonderer Bedeutung für die menschliche Gesundheit und stehen in engem Zusammenhang mit dem Auftreten von Hauterkrankungen.

9.2.1 Hautkrebs

Beim lichtinduzierten Hautkrebs wird in erster Linie zwischen dem malignen Melanom (MM) und den nicht-melanozytären Hautkrebsen (NMSC) unterschieden, zu deren häufigsten Formen das Basalzellkarzinom (BCC) und das Plattenepithelkarzinom (SCC) gehören. UV-Strahlung gilt nicht als alleiniger Risikofaktor für die Entstehung von Hautkrebs, zählt aber zu den Hauptrisikofaktoren, vor allem beim SCC, gefolgt vom BCC und MM. Trifft UV-Strahlung auf die Hautoberfläche, dringt sie in Abhängigkeit von der Wellenlänge unterschiedlich tief in die Haut ein und interagiert mit photosensiblen Zellbestandteilen wie DNA oder Proteinen. Die Haut hat neben ihren natürlichen Lichtschutzfaktoren wie Hautdicke, Melaninkonzentration und Wassergehalt der Epidermis verschiedene Mechanismen zur Anpassung an wiederholte UV-Expositionen. Zum einen kann die Haut eine sogenannte Lichtschwiele ausprägen. Dabei entsteht eine Keratinozyten-Hyperproliferation mit Verdickung der Haut, sodass weniger UV-Strahlung die Dermis erreicht. Zum anderen kann der Pigmentierungsgrad der Haut erhöht werden. Die als Sofortbräunung bekannte Tönung der Haut bereits wenige Stunden nach UV-A-Exposition wird durch Photooxidation bereits vorhandener Melaninvorstufen bewirkt. Die UV-B-induzierte, indirekte Pigmentierung nach einigen Tagen wird durch Anregen der Melanozyten erreicht. Dies führt unter anderem zur Produktion von Melanin. Dies ist eine natürliche Anpassung der Haut an die UV-Strahlung. Eine übermäßige akute Exposition gegenüber UV-Strahlung führt zunächst zu einem toxischen Schaden mit Erythembildung, d. h. Hautrötungen (Sonnenbrand) verschiedener Intensi-

tät. Die geschädigten Keratinozyten, sog. sunburn cells, sind bereits eine Stunde nach erythemwirksamer Sonnenexposition nachweisbar. Langfristig übermäßige Expositionen gegenüber UV-Strahlung können DNA-Läsionen erzeugen, die bei Überbeanspruchung der Reparaturmechanismen persistieren und bei Akkumulation zu Mutationen in Form von Hautkrebs führen. Für die Dosis-Wirkungs-Beziehung bei der Entstehung von SCC ließ sich ein direkter Zusammenhang mit der kumulativen Dosis an UV-Exposition und der Häufung von SCC nachweisen, was 2015 zur Anerkennung von weißem Hautkrebs bei chronischer beruflicher Sonnenexposition als neue Berufskrankheit BK5103 geführt hat. Beim SCC ist die kumulative UV-Exposition über die Lebenszeit, beim BCC die Häufigkeit der Sonnenbrände in jedem Alter von Bedeutung (Armstrong u. Kricger 2001). Beim MM begünstigen die akute, intermittierende UV-Exposition sowie die Häufigkeit von Sonnenbränden die Entstehung (Gandini et al. 2005).

Hautkrebs zählt zu den häufigsten Krebserkrankungen überhaupt. In 2015 lag in Deutschland die Inzidenz des MM für Männer bei 11.170, für Frauen bei 10.850 Fällen, die Mortalität bei 1.767 bzw. 1.287. Charakteristisch für das MM ist die starke Zunahme der Inzidenz, die sich seit den 1970er-Jahren mehr als verfünffacht hat (RKI u. GEKID 2019). Ergänzend ist zu erwähnen, dass einerseits zwar die Erkrankungshäufigkeit zugenommen hat, jedoch nicht in gleichem Maße die Sterblichkeit (s. Abb. 1).

Die Inzidenz der NMSC lag in Deutschland in 2015 bei 118.620 (Männer) bzw. 105.140 (Frauen) bei einer Sterblichkeit von 464 bzw. 350 Fällen. NMSC kommt damit deutlich häufiger vor als das MM. Ähnlich wie beim MM hat die Erkrankungshäufigkeit deutlich zugenommen (RKI u. GEKID 2019) und es lassen sich in Versorgungsdaten markante regionale Variationen in der Erkrankungshäufigkeit bzw. Prävalenz in Deutschland vorfinden (Augustin et al. 2018b).

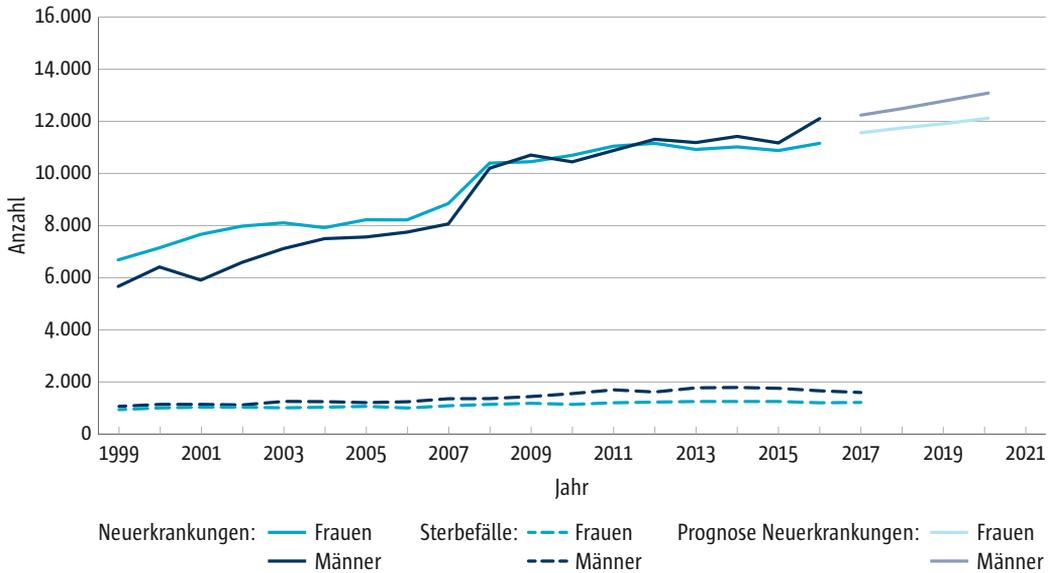


Abb. 1 Altersstandardisierte Erkrankungs- und Sterberaten des malignen Melanoms nach Geschlecht, ICD-10 C43, Deutschland 1999–2016/17, Prognose (Inzidenz) bis 2020 je 100.000 (alter Europastandard) (RKI u. GEKID 2019)

9.2.2 UV-Strahlung als Auslöser oder Verstärker von entzündlichen Hauterkrankungen

UV-Licht kann bei allen Menschen in Abhängigkeit von Strahlendosis und Hauttyp akute (z.B. Sonnenbrand) oder chronische (z.B. Hautkrebs) Hautschäden verursachen. Neben diesen physikalischen Schäden können weitere Hautkrankheiten unter dem Einfluss von UV-Licht induziert werden. Dabei unterscheidet man in phototoxische und photoallergische Reaktionen, endogene Lichtüberempfindlichkeit und endogene Erkrankungen, die durch Sonnenlicht verschlechtert werden (Treadler u. Simon 2019). Bei den photoallergischen Hautkrankheiten wird unter Lichteinwirkung, zumeist durch UV-A, ein exogenes Photoallergen aktiviert, das eine Sensibilisierung von Immunzellen induziert. Dieses Photoallergen kann auf die Haut aufgebracht (z.B. Duftstoffe in Kosmetika) oder eingenommen werden (z.B. Arzneimittel). Zu dieser Gruppe der Hauterkrankungen gehören das photoallergische Kontaktekzem, die syste-

mische photoallergische Reaktion und die persistierende Lichtreaktion. Bei phototoxischen Reaktionen kommt es nach Hautkontakt mit einer Substanz und nachfolgender Sonnenexposition ohne Einfluss des Immunsystems zu einer toxischen Reaktion auf der Haut, die dem Sonnenbrand ähnelt. Eine solche Hautreaktion ist die bekannte Wiesengräserdermatitis, bei der durch Hautkontakt mit Pflanzenbestandteilen und nachfolgender Sonnenbestrahlung verbrennungsähnliche Hauterscheinungen auftreten.

Eine Erkrankungsgruppe für sich bilden die polymorphen Lichtdermatosen, die Mallorca-Akne und die Lichturtikaria. Bei diesen Erkrankungen wurde kein Photoallergen detektiert und man postuliert eine endogene individuelle Lichtüberempfindlichkeit. Weitere Erkrankungen können durch UV-Strahlung verschlechtert werden, dies kennt man von Autoimmunerkrankungen wie dem Lupus erythematoses oder Stoffwechselerkrankungen wie der Porphyrie. Aber auch die weitverbreitete Volkskrankheit Rosacea reagiert als entzündliche



Hauterkrankung des Gesichts ungünstig auf Sonnenbestrahlung mit Verstärkung von Rötung und entzündlichen Effloreszenzen. Dabei spielen vermutlich die physikalischen Bestrahlungswirkungen wie Wärmeentwicklung eine bedeutende Rolle.

9.2.3 UV-Strahlen als Therapeutikum

Die heilende Wirkung von natürlichem Sonnenlicht kannte man schon lange vor der Antike. Ein klassisches Beispiel aus der heutigen Zeit ist die sog. „selektive UV-Therapie (SUP)“ bei der Behandlung von Psoriasis mit einer UV-B-Bestrahlung von 311 nm (Nast et al. 2011b). Psoriasis, im Volksmund als Schuppenflechte bekannt, ist eine chronisch entzündliche Erkrankung, die mit zunehmenden Erkenntnissen über entzündliche Botenstoffe als Systementzündung wahrgenommen wird und neben Haut, Nägeln und Gelenken weitere metabolische Prozesse betrifft sowie Komorbidität bewirken kann. Die Prävalenz der Psoriasis liegt weltweit unterschiedlich zwischen 0,09 und 11,4% (WHO 2016); in Deutschland liegt sie bei ca. 2,5% (Parisi et al. 2020). Der Zusammenhang eines feststellbaren Nord-Süd-Gefälles in der Prävalenz der Schuppenflechte in Europa und mit bewohnten Breitengraden und damit einhergehender unterschiedlicher Sonnenexposition wird diskutiert (Gutierrez et al. 2017). Licht als positiver Einfluss auf die entzündlichen Hautplaques wird seit Langem in Form von Heliotherapie (Sonnenbäder in der Therapie-düne auf Sylt), als kombinierte Bade-Licht-Kuren (Balneophototherapie am Toten Meer, Emmanuel et al. 2020) oder als gezielte Phototherapie mit UV-emittierenden Lampen definierter Spektren eingesetzt. Damit hat die Phototherapie einen festen Stellenwert im Stufenschema zur Behandlung von Psoriasis (Nast et al. 2011a, b).

Neben der Psoriasis wird UV-Strahlung auch bei weiteren Hauterkrankungen (v.a. atopische Dermatitis, [Neurodermitis], Prurigo) erfolg-

reich zur Linderung der Symptome eingesetzt. Zu den Grundsätzen der Lichttherapie gehören eine möglichst geringe Strahlungsexposition, individuelle Anpassung der Dosis an den Hauttyp und eine langsame Steigerung der Dosierung zur Vermeidung von schädigenden Nebenwirkungen wie Erythembildung oder Wärme-stau. Die in den 80er-Jahren verbreitete private Anwendung von Heimsolarien zur Lichtgewöh-nung vor dem Sommer, Vermeidung von Win-terdepressionen und zur Nutzung des Wärme-effekts bei Rheuma wird von den Fachgesell-schaften nicht mehr unterstützt.

9.3 Klimatische Veränderungen und UV-Strahlung

In den 1980er-Jahren hat sich gezeigt, dass der Eintrag von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKWs) zu einer Reduktion der stratosphärischen Ozonkonzentration (Ozonloch) geführt hat. Die Ozonzerstörung hatte zur Folge, dass in diesen Regionen, vor allem in der Südhemisphäre, eine deutlich erhöhte UV-Strahlungsintensität verzeichnet wurde. Die Erkenntnis aus der ozonzerstörenden Wirkung von FCKWs waren internationale Abkommen, u.a. das Montrealer Protokoll von 1994 zur Reglementierung des Eintrags ozonzerstörender Substanzen. Mittlerweile zeigen diese Maßnahmen Wirkung und es wird etwa bis Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer vollständigen Regeneration des stratosphärischen Ozons gerechnet (Bekki u. Bodeker 2010).

Die stratosphärische Ozonzerstörung durch FCKWs erfolgt losgelöst von klimatischen Veränderungen; allerdings gibt es indirekte Einflüsse des Klimawandels auf diese Prozesse und letztlich damit auch auf die UV-Strahlung. Diese bestehen vor allem darin, dass klimatische Veränderungen die Ozondynamik und -chemie in der Atmosphäre beeinflussen können. Diese Prozesse sind komplex und sollen an dieser Stelle nicht weiter beschrieben werden. Es kann daraus jedoch die Konsequenz festgehalten

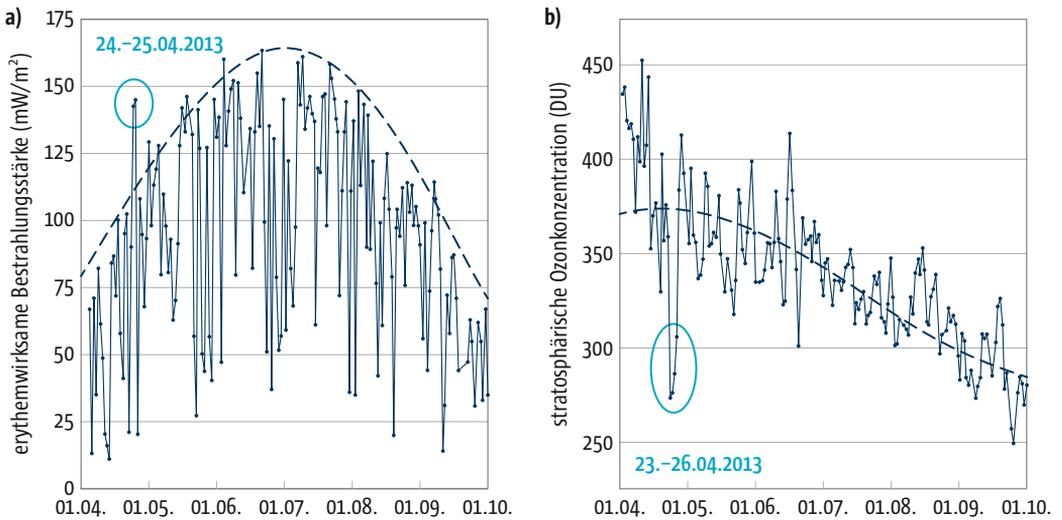


Abb. 2 Verlauf der Mittagswerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke (a) sowie Konzentration des stratosphärischen Gesamt Ozons (b) an der Messstation Zingst zwischen April und September 2013 (Augustin et al. 2018a)

werden, dass die Regeneration des stratosphärischen Ozons möglicherweise durch den Eintrag von Treibhausgasen bzw. einer sich weiter erwärmenden Atmosphäre verzögert wird (Dameris 2005). Prognosen zur Entwicklung der UV-Strahlung sind ebenfalls noch mit Unsicherheiten behaftet, weil mit Hinblick auf die Ozonregeneration regional von unterschiedlichen Veränderungen ausgegangen werden muss. Der Rückgang der UV-Strahlung könnte über der Arktis am höchsten ausfallen (bis zu 40%) (Bais et al. 2015), in anderen Regionen, etwa in den mittleren oder nördlichen Breitengraden, mit 5–15% etwas geringer (Bais et al. 2019).

Neben diesen eher langfristigen Entwicklungen sind möglicherweise lokale, temporäre Extremereignisse, wie die sogenannten Ozonniedrigereignisse von höherer Relevanz. Bei diesen Ereignissen handelt es sich um lokal begrenzte, ozonarme Luftmassen, die aus polaren Regionen bis in die mittleren Breiten (d.h. auch Europa) vordringen und mit kurzfristig hohen UV-Strahlungsintensitäten einhergehen können. Aufgrund der atmosphärischen Dynamik treten sie vor allem im Frühjahr auf, also

in der Zeit, in der die Haut besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung ist. Nach Brönnimann und Hood (2004) sowie Rieder et al. (2010) ist in den vergangenen Jahrzehnten eine Häufigkeitszunahme dieser Ereignisse zu verzeichnen und die globale Erwärmung könnte das Auftreten dieser Ereignisse begünstigen (v. Hobe et al. 2013). In der Abbildung 2 ist beispielhaft für das Jahr 2013 solch ein Ereignis ersichtlich. Abgebildet ist der Verlauf der Mittagswerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke sowie die Konzentration des stratosphärischen Ozons an der Messstation Zingst an der Ostsee. Zu erkennen ist ein deutlicher Anstieg der UV-Strahlung am 24. und 25.04.2013, der mit einer kurzfristigen Abnahme des stratosphärischen Ozons im selbigen Zeitraum einhergeht. Ergänzend ist zu erwähnen, dass sich dieser lokale Ozonverlust nur dann im bodennahen UV bemerkbar macht, wenn es die Bewölkungssituation zulässt.

Neben dem stratosphärischen Ozon hat die Bewölkung eine wichtige Bedeutung für die bodennahe UV-Strahlung, da sie diese in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad und Wolkentyp stark beeinflussen kann. Klimatische Verände-

rungen haben einen Einfluss auf die Bewölkung, allerdings sind Aussagen zur Veränderung der Bewölkung aufgrund ihrer hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik komplex und mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Es scheint aber so zu sein, dass bisherige Veränderungen der bodennahen UV-Strahlung in den mittleren Breiten vor allem durch Veränderungen der Bewölkung hervorgerufen wurden (Bais et al. 2018). Indirekt lässt sich dies auch mit der Sonnenscheindauer belegen, die sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland erhöht hat (Deutscher Wetterdienst 2019). Sie korreliert zudem mit einer Zunahme der erythemwirksamen UV-Strahlung (Baldermann u. Lorenz 2019). Neben der Bewölkung haben Luftreinhaltemaßnahmen ebenfalls einen Einfluss, da sie zu einer Verringerung von Aerosolen in der Luft und damit zu einem Anstieg der UV-Strahlung führen. Vor allem in Regionen mit hoher Luftverschmutzung durch Verkehr und Industrie ist dies ein wichtiger Faktor.

9.4 Klimawandel und UV-assoziierte Hauterkrankungen

Zahlreiche epidemiologische Studien beschreiben die Häufigkeit UV-assoziiierter Hauterkrankungen. Insbesondere der Hautkrebs spielt dabei eine besondere Rolle, da die Prävalenz innerhalb der letzten Jahrzehnte signifikant angestiegen ist. Auch die Prävalenz der atopischen Dermatitis hat sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nahezu verdreifacht (Nguyen et al. 2018). Wenngleich der Einfluss von UV-Strahlung auf Hauterkrankungen im Grundsatz verstanden ist, kann keine gesicherte Aussage darüber getroffen werden, inwieweit der Klimawandel einen Anteil daran hat. Quantitative Studien zum Einfluss klimatischer Veränderungen auf Hauterkrankungen sind sehr selten. Das betrifft insbesondere Hauterkrankungen, wie Psoriasis, atopische Dermatitis etc. Für den Hautkrebs existieren zwei Studien (Kelfkens et al. 2002; van Dijk et

al. 2008), die methodisch beide auf UV-Klimatologien und UV-Dosis-Wirkungsmodellen basieren. Beide stammen aus dem niederländischen National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) und haben den Einfluss des Klimawandels auf die Hautkrebshäufigkeit modelliert. In beiden Studien wird von einem Einfluss klimatischer Veränderungen auf die UV-Strahlung ausgegangen, der die Strahlungsintensität noch bis Mitte des 21. Jahrhunderts ansteigen lässt. Kelfkens et al. 2002 prognostizieren für Mitteleuropa in 2070 bedingt durch den Einfluss klimatischer Veränderungen 50–150 zusätzliche Hautkrebsfälle (alle Hautkrebstypen) pro eine Million Einwohner pro Jahr. Die Unsicherheiten basieren auf dem unsicheren Einfluss des Klimawandels auf den Ozonhaushalt und damit die UV-Strahlung. In der etwas aktuelleren Studie von van Dijk, den Outer und Slaper (2008) wurde je nach Szenario eine Zunahme der Inzidenz in Mitteleuropa im Jahr von bis zu 12% (bezogen auf das Referenzjahr 1980) prognostiziert. Das Maximum der Hautkrebserkrankungen wird etwa zwanzig Jahre nach dem prognostizierten Maximum der UV-Strahlungsintensität ermittelt.

Den Autoren lagen keine weiteren, vergleichbaren Studien zum Einfluss des Klimawandels auf Hauterkrankungen vor. Ein Grund dafür liegt vermutlich in den zahlreichen Variablen, die beim Zusammenwirken klimatischer Veränderungen mit dem Ozonhaushalt und als Folge daraus der UV-Strahlung zu suchen sind. Zudem kann die Ausbildung einer Hauterkrankung zahlreiche Ursachen haben, Jahrzehnte dauern und ist stark abhängig vom UV-Expositionsverhalten. Dies ist am Beispiel von Hautkrebs mit einer jahrzehntelangen Latenz zwischen Sonnenexposition und Auftreten von Tumoren deutlich. Insofern können derzeit nur die UV-assoziierten atmosphärischen Prozesse, die Veränderung der UV-Intensität sowie die Exposition gegenüber UV-Strahlung im Kontext ihrer Wirkung auf die Haut diskutiert werden. Das reale bzw. zu erwartende Gesundheitsrisiko lässt sich jedoch nicht ableiten.

9.5 Temperaturassoziierte UV-Exposition

Diffey (2018) unterscheidet bei der individuellen UV-Exposition zwischen der zufälligen Exposition und der elektiven Exposition. Bei der zufälligen Exposition handelt es sich um die unvermeidliche Exposition im Zusammenhang mit Aktivitäten wie Einkaufen oder Arbeiten. Die elektive Exposition hingegen ist die bewusste Exposition zu Freizeitzielen oder im Urlaub. Die intensive UV-Exposition ist vor allem im Kontext einer beruflichen Tätigkeit (z.B. im Straßenbau) sowie in Freizeit und Urlaub von Relevanz. Gambla et al. (2017) haben in einer Übersichtsarbeit die Prädiktoren des Sonnenschutz- bzw. Expositionsverhaltens untersucht. Zu den beeinflussenden Determinanten für eine UV-Exposition gehören unter anderem: soziale Einflüsse (z.B. Eltern, Freunde), Herkunft, Erscheinungsbild und Selbstwahrnehmung, sozioökonomischer Status (z.B. Bildung), Alter, Geschlecht, Hauttyp, Freizeitverhalten, Medien und das Wetter. Das Wetter bzw. meteorologische Gegebenheiten werden in der Literatur im Vergleich zu den anderen Faktoren im Zusammenhang mit einer UV-Exposition jedoch oftmals vernachlässigt. Bestehende Studien zeigen aber, dass ein Zusammenhang zwischen Wetter und (UV-)Exposition besteht und meteorologische Faktoren wie die (gefühlte) Temperatur, Wind, Bewölkung bzw. Sonnenschein und Niederschlag von Bedeutung sind. Zudem konnten Stewart und Kimlin (2018) zeigen, dass scheinbar auch die innere Einstellung gegenüber thermischen Bedingungen – das heißt ob Hitze als angenehm oder unangenehm empfunden wird – relevant für eine Exposition im Freien sein könnte. Eisinga et al. 2011 oder auch Knuschke et al. 2004 bzw. 2007 zeigen, dass anscheinend die gefühlte Temperatur von besonderer Bedeutung dafür ist, ob sich Personen gegenüber UV-Strahlung exponieren oder nicht. Eisinga et al. haben dies in einer Studie am täglichen Fernsehkonsum im Zeitraum von 1996–2005 in den Niederlanden ausgewertet. Es ergab sich bei einer Tages-

mitteltemperatur von 20°C ein im Vergleich zu 10°C um bis zu 18 Minuten geringerer Fernsehkonsum der Studienteilnehmer. Auch Knuschke et al. 2004 und 2007 konnten aufzeigen, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Freien und damit einer möglichen UV-Exposition von den meteorologischen Bedingungen und vor allem von der Temperatur abhängig ist. Je höher diese in Kombination ohne Niederschlag ist, desto eher halten sich die Menschen auch im Freien auf.

Hill und Boulter (1996) konnten zeigen, dass sich die Wahrscheinlichkeit eines Sonnenbrandes verdoppelt, wenn die Umgebungstemperatur im Bereich von 19–27°C liegt, verglichen mit niedrigeren oder höheren Temperaturen. Diese Erkenntnis ist im Kontext klimatischer Veränderungen wichtig, da der Zusammenhang zwischen steigenden UV-Expositionswahrscheinlichkeiten bei zunehmender Temperatur nur innerhalb des sogenannten thermischen Optimums besteht. Nimmt die Temperatur ab oder steigt sie weiter an, stellt sich für die Menschen ein thermischer Diskomfort (Unbehaglichkeit) ein und man geht ins Warme oder sucht Schatten auf. Im Zuge klimatischer Veränderungen ist über das Jahr gesehen mit einer steigenden Anzahl von Tagen im thermischen Komfortbereich zu rechnen, sodass zukünftig möglicherweise mit einer ansteigenden Expositions Wahrscheinlichkeit zu rechnen ist. Allerdings deuten Klimamodelle auch auf eine Zunahme von Extremereignissen (z.B. Hitzewellen) hin, sodass eine ansteigende Anzahl von Tagen im Bereich thermischen Diskomforts den vermehrten Tagen im thermischen Komfortbereich gegenüberstehen. Wenngleich der Einfluss des Wetters und damit auch klimatischer Veränderungen auf das Freizeit- bzw. UV-Expositionsverhalten vorhanden ist, kann die Hypothese, dass ein sich veränderndes Klima zu einer höheren UV-Belastung und dadurch zu mehr Hauterkrankungen führt, bislang nicht eindeutig belegt werden.

9.6 Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Exposition

Zu den Risikogruppen, die auf einen besonders guten Sonnenschutz achten sollten, zählen vor allem Kinder (insbesondere Babys) und Jugendliche, Menschen mit heller Haut, rotem Haar sowie Menschen mit vielen, auffälligen und/oder angeborenen Muttermalen und Personen mit einer persönlichen oder familiären Vorgeschichte von Hautkrebs. Darüber hinaus betrifft das diejenigen, die arbeits- (z.B. Dachdecker) oder freizeitbedingt (z.B. Golfer) viel Zeit in der Sonne verbringen (IFA 2018). Noch vor dem Tragen geeigneter Kleidung und der Anwendung von Sonnenschutzmitteln ist die Vermeidung starker Sonnenstrahlungsexpositionen die wichtigste verhaltenspräventive Maßnahme zur Vermeidung von UV-Strahlung. Dies beinhaltet vor allem den Aufenthalt im Freien so kurz wie möglich zu halten, den Aufenthalt während der Mittagszeit zu vermeiden, die individuelle Eigenschutzzeit der Haut nicht zu überschreiten oder auch die Haut (z.B. im Frühjahr/Urlaub) langsam an die Sonne zu gewöhnen und in jedem Falle einen Sonnenbrand zu vermeiden (vgl. Leitlinienprogramm Onkologie 2014).

Im Rahmen einer vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführten Studie (BfS 2009) wurden 1.501 Personen zu ihrem UV-Expositions- und UV-Schutzverhalten sowie zu UV-bezogenen Einstellungen, Wissen etc. befragt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass auf der einen Seite die Gesundheitsrisiken durch UV-Strahlung als schwerwiegend eingeschätzt werden und im Alltagsdenken auch präsent sind. Auf der anderen Seite halten die Menschen die persönliche Gefährdung durch UV-Strahlung für weniger stark als für andere Personen gleichen Alters in Deutschland. Insofern besteht ein grundsätzliches Risikobewusstsein gegenüber UV-Strahlung, das jedoch nicht immer unmittelbar auf sich selber bezogen wird. Dies spiegelt sich auch in der aktiven oder passiven Rezeption von Informationen

zum Sonnenschutz oder UV-Strahlung wider. Nach der BfS-Studie (BfS 2009) sind hier zwei Faktoren besonders relevant: Personen, die sich darum kümmern, dass sich andere Personen vor der Sonne schützen, und Menschen, die selbst oder in ihrem persönlichen Umfeld Hautkrebs erlebt haben, haben eine etwa doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit für aktive oder passive Informationsrezeption als denjenigen, auf die das nicht zutrifft.

In den S3-Leitlinien zur Prävention von Hautkrebs (Leitlinienprogramm Onkologie 2014) wird gefordert, dass das Wissen über die Wirkungen von UV-Strahlung und Schutzmaßnahmen nachhaltig vermittelt werden soll. Neben zahlreichen Präventionskampagnen (z.B. die Euromelanoma-Aufklärungskampagnen) und Initiativen (UV-Schutz-Bündnis) zu verhaltenspräventiven Maßnahmen wurde bereits 2002 ein Instrument zur Förderung des Risikobewusstseins und Steigerung der Aufmerksamkeit für die Notwendigkeit eines angemessenen UV-Schutzes ins Leben gerufen (WHO 2002). Der UV-Index (UVI) wurde als international einheitliches Maß für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke und als Indikator für das hautschädigende Potenzial der auf der Erdoberfläche auftretenden natürlichen UV-Strahlung entwickelt (Leitlinienprogramm Onkologie 2014). Der UVI hat den Vorteil, dass er als einfacher Indikator zur Kommunikation des UV-Strahlungsrisikos über die Medien (z.B. Wettervorhersage im Fernsehen, Radio etc.) oder auch direkt vor Ort (z.B. Hinweistafel am Strand) kommuniziert werden kann. Das Umweltbundesamt (UBA) hat in einer Studie (UBA 2015) die Wirksamkeit von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit evaluiert, bei der auch der UVI berücksichtigt wurde. Dazu wurde unter anderem eine Bevölkerungsumfrage durchgeführt, um Informationsverhalten, Risikowahrnehmung und Kenntnis über Warnsysteme in der Bevölkerung zu untersuchen. So wurden die Studienteilnehmer beispielsweise gefragt, ob sie schon einmal in irgendeiner Form vom UVI gehört haben. Knapp

70% der Befragten haben dies verneint. Zum Vergleich waren dies im Falle von Hitzewarnsystemen 28,7%. Hinsichtlich der Kenntnis über Schutzmaßnahmen (Anwendung von Sonnenschutzmitteln, Mittagssonne meiden) bei erhöhter UV-Strahlung und Sonneneinstrahlung gaben allerdings 76,8% der Studienteilnehmer an, sich diesbezüglich gut auszukennen. Darüber hinaus wurde gefragt, ob das Erhalten von Warnhinweisen helfen würde, frühzeitig entsprechende Schutzmaßnahmen anzuwenden. Im Kontext der UV-Strahlung haben dem lediglich 49% der Befragten zugestimmt.

Die Ergebnisse beider Studien zeigen noch bestehende Defizite in der Anwendung von UV-Schutzmaßnahmen, in der Kommunikation von UV-Strahlungsrisiken und der Einschätzung der persönlichen Gefährdung. Letzteres ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass eine übermäßige UV-Exposition selbst nicht zu einer unmittelbaren Belastung führt. Sonnenbrände entstehen mit einer Verzögerung von Stunden und Langzeitschäden erst nach Jahrzehnten. Die Vulnerabilität ist zudem noch vom Expositionsverhalten und Hauttyp abhängig (UBA 2015). Hinsichtlich des UVI bleibt festzuhalten, dass er immer noch wenig bekannt ist, oftmals nicht interpretiert werden kann und der Nutzen von UV-Warnungen auch in Frage gestellt wird.

Vor diesem Hintergrund ist die erstmalig gemeinsam von gesetzlichen Krankenversicherungs- und Unfallversicherungsträgern 2007/2008 gestartete bundesweite Präventionskampagne hervorzuheben. Mit dem Slogan „Deine Haut. Die wichtigsten 2 m² Deines Lebens“ wurde nicht nur auf die Hautbelastung durch Umwelt und Arbeit hingewiesen, sondern auch für eine frühzeitige Prävention vor übermäßiger Sonnenbelastung geworben. Diese Kampagne fand sehr viel Zuspruch, förderte die Teilnahme an regelmäßigen Hautkrebsvorsorgeuntersuchungen und war ein wichtiger Meilenstein für das Gesundheitsbewusstsein in der Bevölkerung im Umgang mit Sonne. Ebenso war die Implementierung des Anspruchs auf re-

gelmäßige Hautkrebsvorsorge in den Leistungskatalog der gesetzlichen Krankenversicherungen ab Juli 2008 entscheidend für eine bessere Früherkennung von und das Bewusstsein für Sonnenschäden (DGUV 2008; GBA 2020).

9.7 Zukünftige Versorgung UV-assoziiierter Hauterkrankungen

Klimatische Veränderungen haben potenziellen Einfluss auf die Mortalität und Morbidität bei Hauterkrankungen und es ergibt sich daraus die grundlegende Frage, was das für die zukünftige Versorgung von Hauterkrankungen bedeutet. Dieser Beitrag zeigt, dass sich die Zusammenhänge zwischen einem sich verändernden Klima, UV-Strahlung, UV-Exposition und manchen Hauterkrankungen zwar indirekt und qualitativ herleiten lassen, konkrete Aussagen zum zukünftigen Versorgungsbedarf jedoch nicht realistisch abgeleitet werden können. Dies liegt zum einem daran, dass die Krankheitshäufigkeiten vor allem durch vom Klima unabhängige Prädiktoren wie beispielsweise genetische Veranlagung, Beruf, Ernährung oder Alter beeinflusst werden. Zum anderen sind quantitative Aussagen zum Einfluss des Klimawandels mangels Studien praktisch nicht möglich. Ungeachtet der Vielzahl von Variablen kann man jedoch aus den bisherigen Erkenntnissen Rückschlüsse auf eine definitive Veränderung der zukünftigen Lebenssituation im Zusammenhang mit Sonnenlicht ziehen. Daraus lässt sich eine veränderte UV-Exposition über die Lebenszeit erwarten mit konsekutiven Auswirkungen auf UV-relevante Hautprozesse. Aufgrund der Ergebnisse von Kelfkens et al. (2002) und van Dijk et al. (2008) kann man weiterhin von einer Zunahme von Hautkrebs in Mitteleuropa ausgehen; allerdings fehlen aktuelle Vergleichsstudien. Darüber hinaus fehlen Studien, die die klimatisch bedingte UV-Exposition und deren Veränderung untersuchen und diese Erkenntnisse in die Prognosen einfließen lassen.

9.8 Schlussfolgerungen

Die Ausführungen in diesem Beitrag haben in Kürze den Zusammenhang zwischen einem sich verändernden Klima, UV-Strahlung bzw. UV-Exposition und Hauterkrankungen aufgezeigt. Wenngleich eine grundlegende Erkenntnis zu den Zusammenhängen besteht, gibt es keine gesicherten, quantitativen Erkenntnisse, aus denen sich über bestehende Empfehlungen zum Hautschutz hinaus konkrete Maßnahmen – und das betrifft auch den zukünftigen Versorgungsbedarf von Hauterkrankungen – ableiten lassen. Aus dieser Tatsache lässt sich jedoch ein Forschungsbedarf folgern, der insbesondere auf das sich durch den Klimawandel verändernde UV-Expositionsverhalten abzielen sollte.

Literatur

- Armstrong BK, Kricger A (2001) The epidemiology of UV induced skin cancer. *J Photochem Photobiol B* 63, 8–18
- Augustin J, Horstmann R, Homeier T, Jensen K, Knieling J, Krefis AC, Krüger M, Quante M, Sandmann H, Strube C, Tannich E (2018a) Gesundheit. In: Von Storch H, Claussen C (Hrsg.) *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Springer Verlag, Heidelberg
- Augustin J, Kis A, Sorbe C, Schäfer I, Augustin M (2018b) Epidemiology of Skin Cancer in the German Population: Impact of Socioeconomic and Geographic Factors. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 32(11), 1906–1913
- Augustin J, Sauerborn R, Burkart K, Endlicher W, Jochner S, Koppe C, Menzel A, Mücke H-G, Herrmann A (2017): Gesundheit. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöllner S (Hrsg.) *Klimawandel in Deutschland*. Springer Verlag, Heidelberg
- Bais AF, Bernhard G, McKenzie RL, Aucamp PJ, Young PJ, Ilyas M, Jöckel P, Deushi M (2019) Ozone-climate interactions and effects on solar ultraviolet radiation. *Photochem Photobiol Sci* 18(3), 602–640
- Bais AF, Lucas RM, Bornman JF, Williamson CE, Sulzberger B, Austin AT, Wilson SR, Andrady AL, Bernhard G, McKenzie RL, Aucamp PJ, Madronich S, Neale RE, Yazar S, Young AR, de Gruijl FR, Norval M, Takizawa Y, Barnes PW, Robson TM, Robinson SA, Ballaré CL, Flint SD, Neale PJ, Hylander S, Rose KC, Wängberg S-Å, Häder D-P, Worrest RC, Zepp RG, Paul ND, Cory RM, Solomon KR, Longstreth J, Pandey KK, Redhwi HH, Torikai A, Heikkilä AM (2018) Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochem Photobiol Sci* 17(2), 127–179
- Bais AF, McKenzie RL, Bernhard G, Aucamp PJ, Ilyas M, Madronich S, Tourpali K (2015) Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Photochem Photobiol Sci* 14(1), 19–52
- Baldermann C, Lorenz S (2019) UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. *Bundesgesundheitsblatt* 62, 639–645
- 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
- Brönnimann S, Hood LL (2004) Low ozone events over the north-western Europe in the 1950s and 1990s. In: Zerefos C (Hrsg.) *Ozone: Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium (June 2004)*, 1, 302–303, Kos, Greece
- Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2009) Ansatzpunkte für die Verbesserung der Risikokommunikation im Bereich UV-Vorhaben 3606S04507. BfS-RESFOR/04/09. urn:nbn:de:0221-2009011236. Salzgitter.
- Dameris M (2005) Klima-Chemie-Wechselwirkungen und der stratosphärische Ozonabbau. *Promet* 31(1), 2–11
- Deutscher Wetterdienst (2019) *Klimastatusbericht Deutschland 2019*. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2008) *Die Präventionskampagne Haut*. URL: https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/kampagnen/praev_kampagnen/kampagne_haut/abschlussbericht.pdf (abgerufen am 16.02.2021)
- Diffey B (2018) Time and Place as Modifiers of personal UV Exposure. *Int J Environ Res Public Health* 15, 1112
- Eisinga R, Franses PH, Vergeer M (2011) Weather conditions and daily television use in the Netherlands, 1996–2005. *Int J Biometeorol* 55(4), 555–564
- Emmanuel T, Lybæk D, Johansen C, Iversen L (2020) Effect of Dead Sea Climatotherapy on Psoriasis; A Prospective Cohort Study. *Front Med (Lausanne)* 7, 83
- Gambla WC, Fernandez AM, Gassman NR, Tan MCB, Daniel CL (2017) College tanning behaviors, attitudes, beliefs, and intentions: A systematic review of the literature. *Prev Med* 105, 77–87
- Gandini S, Sera F, Cattaruzza MS, Pasquini P, Abeni D, Boyle P, Melchi CF (2005) Meta-analysis of risk factors for cutaneous melanoma: I. Common and atypical naevi. *Eur J Cancer* 41(1), 28–44
- GBA – Gemeinsamer Bundesausschuss (2020) *Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Früherkennung von Krebserkrankungen*. URL: https://www.g-ba.de/downloads/62-492-2238/KFE-RL_2020-06-18_iK-2020-08-28.pdf (abgerufen am 16.02.2021)
- Gutierrez E, Sanmartino C, Carrera O, Fraga A, Arce C (2017) Psoriasis: Latitude does make a difference. *J Am Acad Dermatol* 77(2), e57

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

- Hill D, Boulter J (1996) Sun protection behaviour: Determinants and Trends. *Cancer Forum* 20, 204–210
- IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (2018) Technische Information zur Ermittlung in Berufskrankheiten(BK)-fällen vor dem Hintergrund der neuen Berufskrankheit mit der BK-Nr. 5103 „Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“. URL: https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/strahl/pdf/bk_natuerliche_strahlung.pdf (abgerufen am 16.02.2021)
- Kelfkens G, Verlders GJM, Slaper H (2002) Integrated risk assessment. In: Kelfkens G, Bregmann A, de Gruijil FR, van der Leun JC, Piquet A, van Oijen T, Gieskes WWC, van Loveren H, Velders GJM, Martens P, Slaper H (Hrsg.) *Ozone layer – climate change interactions. Influence on UV levels and UV related effects. Summary report of OCCUR (Ozone and Climate Change interaction effects for Ultraviolet radiation and Risks)*, 27–30, RIVM, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven
- Knuschke P, Unverricht I, Ott G, Janßen M (2007) Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Abschlussbericht Projekt F 1777
- Knuschke P, Kurpiers M, Koch R, Kuhlsch W, Wittke K (2004) Mittlere UV-Exposition der Bevölkerung. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens 07UV-B54C/3
- Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF) (2014) S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.1, 2014, AWMF Registernummer: 032/0520L. URL: <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Leitlinien.7.0.html> (abgerufen am 15.03.2021)
- Nast A, Amelunxen L, Augustin M, Boehncke W-H, Dressler C, Gaskins M, Härle P, Hoffstadt B, Klaus J, Koza J, Mrowietz U, Ockenfels H-M, Philipp S, Reich K, Rosenbach T, Rzany B, Schlaeager M, Schmid-Ott G, Sebastian M, von Kiedrowski R, Weberschock T (2011a) S3 – Leitlinie zur Therapie der Psoriasis vulgaris. Update 2017; S. 47; 013-001. AWMF online. URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-001l_S3_Therapie_Psoriasis-vulgaris_2017-12.pdf (abgerufen am 16.02.2021)
- Nast A, Amelunxen L, Augustin M, Boehncke W-H, Dressler C, Gaskins M, Härle P, Hoffstadt B, Klaus J, Koza J, Mrowietz U, Ockenfels H-M, Philipp S, Reich K, Rosenbach T, Rzany B, Schlaeager M, Schmid-Ott G, Sebastian M, von Kiedrowski R, Weberschock T (2011b) S3 – Leitlinie zur Therapie der Psoriasis vulgaris. Appendix: „Topische Therapie, Phototherapie, Sonstige Therapien, Schnittstellendefinition“ Fortbestand der Empfehlungen vom Update 2011; S. 47; 013-001. AWMF online. URL: https://www.awmf.org/fileadmin/user_upload/Leitlinien/013_D_Dermatologische_Ges/013-001a_S3_Therapie_Psoriasis-vulgaris_2018-02.pdf (abgerufen am 16.02.2021)
- Nguyen GH, Andersen LK, Davis MD (2018) Climate change and atopic dermatitis: is there a link? *International Journal of Dermatology* 58, 279–282
- Parisi R, Iskandar IYK, Kontopantelis E, Augustin M, Griffiths CEM, Ashcroft DM (2020) *Global Psoriasis Atlas: National, Regional, and Worldwide Epidemiology of Psoriasis: Systematic Analysis and Modelling Study*. *BMJ* 369, m1590
- Rieder HE, Staehelin J, Maeder JA, Peter T, Ribatet M, Davison AC, Stübi R, Weihs R, Holawe F (2010) Extreme events in total ozone over Arosa – Part 1: Application of extreme value theory. *Atmos Chem Phys* 10, 10021–10031
- Robert Koch-Institut (RKI), Gesellschaft der Epidemiologischen Krebsregister (GEKID) (2019) *Krebs in Deutschland für 2015/2016. Gemeinsame Publikation des Zentrums für Krebsregisterdaten und der Gesellschaft der Epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V.* URL: https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebs_in_Deutschland/kid_2019/krebs_in_deutschland_2019.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 15.03.2021)
- Stewart AE, Kimlin MG (2018) The Dislike of Hot Thermal Conditions and Its Relationship with Sun (Ultraviolet Radiation) Exposure in the Southeastern United States. *Int J Environ Res Public Health* 15(10)
- Umweltbundesamt (UBA) (2015) *Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit. Band 1: Anpassung an den Klimawandel: Evaluation bestehender nationaler Informationssysteme aus gesundheitlicher Sicht – Wie erreichen wir die empfindlichen Bevölkerungsgruppen. Umwelt & Gesundheit 2015*. Dessau.
- v Hobe M, Bekki S, Brönnimann S, Cairo F, D’Amato F et al. (2013) Reconciliation of essential process parameters for an enhanced predictability of Arctic stratosphere ozone loss and its climate interactions (RECONCILE): Activities and results. *Atmos Chem Phys* 13, 9233–9268
- van Dijk A, den Outer PN, Slaper H (2008) *Climate and Ozone changes Effects on Ultraviolet radiation and Risks (COEUR) using and validating earth observation*. Report 610002001/2008. RIVM – National Institute for Public health and the Environment. Delft, Netherlands
- Treudler R, Simon JC (2019) *Fotoallergische Reaktionen*. In: Klimek L, Vogelberg C, Werfel T (Hrsg.) *Weißbuch Allergie in Deutschland*. 183. 4. Auflage, Springer Medizin Berlin, Heidelberg
- WHO (2016) *Global report on psoriasis*. Chapter 1. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204417> (abgerufen am 16.02.2021)
- WHO (2002) *Global Solar UV Index – A practical guide*. URL: <https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf> (abgerufen am 16.02.2021)



PD Dr. rer. nat. Jobst Augustin

Diplom-Geograf, seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP) am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE), dort Leitung der Forschungsgruppe Gesundheitsgeografie am IVDP. Zuvor wissenschaftliche Tätigkeiten an der Universität Göttingen, am Umweltbundesamt und am Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in Berlin (ZI).



MD Dr. med. Brigitte Stephan

Fachärztin für Dermatologie und Venerologie, Zusatzbezeichnungen Allergologie, Phlebologie, Berufsdermatologie (ABD), Naturheilverfahren. Fachliche Mitgliedschaften Deutsche Dermatologische Gesellschaft (DDG), ABD, European Academy of Dermatology and Venereology (EADV). Seit 2016 Oberärztin/Prüfärztin am Institut für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP) am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE), weiter freiberufliche Mitarbeiterin des Instituts für Angewandte Dermatologische Forschung proDERM Schenefeld. Promotion an der CAU Kiel 1995, US-amerikanische medizinische Examen (MD).



MD Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Augustin

Facharzt für Dermatologie und Venerologie, Allergologie. Seit 2004 Professor für Gesundheitsökonomie und Lebensqualitätsforschung. Zuvor Oberarzt an der Universitäts-Hautklinik Freiburg. Seit 2010 Direktor des Instituts für Versorgungsforschung in der Dermatologie und bei Pflegeberufen (IVDP) am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE), Co-Direktor des Hamburg Center for Health Economics (HCHE) von UKE und Universität Hamburg, Vorstandsmitglied Center for Health Care Research (CHCR) am UKE.

10 Der Einfluss des Klimawandels auf die Allergenexposition: Herausforderungen für die Versorgung von allergischen Erkrankungen

Alika Ludwig, Daniela Bayr, Melanie Pawlitzki und Claudia Traidl-Hoffmann

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit. DOI 10.32745/9783954666270-10, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Die Zahl der Allergiker:innen in Deutschland und Mitteleuropa steigt stetig. Diese Entwicklung wird durch den Klimawandel noch verstärkt. Durch den Klimawandel verändern sich Verbreitung, Menge und Allergenität der Pollen. Die Zunahme extremer Wetterereignisse könnte zu vermehrten Komplikationen für Asthmatiker:innen führen. Steigende Temperaturen haben Einfluss auf die am Allergiegesehen beteiligten Entzündungsprozesse.

Es besteht eine Kluft zwischen dem Verlust an Lebensqualität und dem volkswirtschaftlichen Schaden, der durch Allergien hervorgerufen wird, einerseits und der landläufigen Wahrnehmung der Erkrankung sowie der Versorgung der Betroffenen andererseits. Allergiker:innen können in erster Linie durch die Inanspruchnahme einer Therapie der Verschlimmerung ihrer Erkrankung vorbeugen, aber auch selbst Maßnahmen zur Anpassung an klimabedingte Veränderungen ergreifen.

Viele der Versorgungslücken ergeben sich jedoch auch aufgrund von strukturellen Gegebenheiten und Weichenstellungen, denen der Gesetzgeber wirksam entgegenreten könnte. Diese betreffen vor allem die Bereiche der Ausbildung der Ärzt:innen, der Vergütungskonzepte der gesetzlichen Krankenkassen, der Verpflichtung zur adäquaten Bereitstellung von Diagnose- und Behandlungsmög-

lichkeiten und vor allem auch der Sicherung und Unterstützung unabhängiger Forschung. Besonders im Bereich der Prävention könnte diese mittelfristig sehr kosteneffektiv den durch die Klimaveränderungen noch vergrößerten gesellschaftlichen Schaden abwenden.

The number of people suffering from allergies in Germany and Central Europe is constantly rising. Climate change further aggravates this development. Climate change modifies the distribution, amount and allergenicity of pollen. The increase in extreme weather events could heighten complications in asthma patients. Rising temperatures have an influence on the inflammation processes that have their share in the manifestations of allergic diseases.

There is a large gap between the impact allergies have on the quality of life and the deadweight loss they cause on the one hand and people's common perception of the disease and the state of patient-centered care on the other hand. The most important thing individuals suffering from allergies can do is to take advantage of professional treatment in order to prevent the worsening of their illness. Beyond that, there are many measures they can take to adjust to the alterations climate change is causing.

Many gaps in medical care for allergic persons, however, are due to structural circumstances and to how the course has been set. Concerning these points, legislation could effectively bring about change. The main issues here are the education of physicians, the reimbursement regulations of statutory health insurance, the commitment to provide diagnostic opportunities and treatment options and – beyond all – the commitment to secure and support independent research. Especially research in the field of allergy prevention could in the medium term help – in a cost-effective way – to avert the societal damage that is even increased by climate change.

10.1 Einleitung

Allergische Erkrankungen breiten sich aus (Ring et al. 2012; Biedermann et al. 2019). Im Jahr 2015 litten in der EU mehr als 150 Millionen Menschen an einer Allergie (EAACI 2015), Tendenz steigend. Schätzungen der EAACI (European Academy of Allergy and Clinical Immunology) rechneten 2015 weiterhin damit, dass im Jahr 2025 bereits die Hälfte der Bevölkerung an einer Allergie leiden würde (EAACI 2015). Der sozioökonomische Schaden beläuft sich auf geschätzt 151 Milliarden Euro pro Jahr (Zuberbiel et al. 2014; Traidl-Hoffmann et al. 2014). Diese enorme Zahl macht deutlich, wie sehr die landläufige Wahrnehmung der Krankheit und ihre faktische Bedeutung auseinanderklaffen. Der jährlich neu durch sie verursachte Schaden und Verlust an Lebensqualität wird sich im Zuge des Klimawandels noch vergrößern. Veränderungen bezüglich der Verbreitungsgebiete und Eigenschaften der Pollen sind dabei ein Aspekt. Allergien gehören zu den nicht übertragbaren Krankheiten, bei denen entzündliche Prozesse eine nicht unerhebliche Rolle spielen. Diese wiederum werden von steigenden Temperaturen beeinflusst. Die Zunahme der Allergiker:innen hierzulande ist also unter anderem ein Gesicht des Klimawandels, das sich hier vor Ort in Mitteleuropa konkret zeigt.

10.2 Veränderung der Allergenexposition

Pollen und Pilzsporen zählen zu den häufigsten Allergieauslösern in der Außenluft und sind daher von zentraler Bedeutung für die medizinische Praxis und Forschung. Die Konzentration von Pollen und Pilzsporen in der Außenluft wird dabei durch verschiedene Umweltfaktoren bestimmt und primär durch die regionale Vegetation beeinflusst. Durch die atmosphärische Zirkulation können zudem insbesondere kleine und leichte Pollen und Pilzsporen über größere Distanzen transportiert werden (Kasprzyk u. Borycka 2019). Entscheidende Umweltfaktoren sind daher regionale Parameter wie Wind, Lufttemperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Bodenbeschaffenheit, Terrain sowie Agrarproduktion, Luftqualität und Urbanisierung (Damialis 2011; Menzel et al. 2006; Traidl-Hoffmann 2017; Fairweather et al. 2020; Jochner et al. 2013). Diese Umweltfaktoren stehen in direktem Zusammenhang mit dem Klimawandel und müssen regional stark differenziert betrachtet werden.

Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich mit dem Einfluss von Umweltfaktoren auf die Allergenexposition sowie die Veränderungen dieser Faktoren aufgrund des Klimawandels. Eine höhere Pollenproduktion und ein früherer Beginn der Pollensaison konnte an Standorten mit erhöhten Temperaturen wie südlich exponierten Hängen, niedrigen Höhenlagen, urbanen Gebieten und in wärmeren Jahren nachgewiesen werden. Aber auch höhere Niederschläge vor der Blütenstandsbildung bedingen eine stärkere Pollenproduktion (Damialis 2011; Traidl-Hoffmann et al. 2014; Ring et al. 2014). Des Weiteren zeigen deutsche Studien an Birkenpollen, dass auch die Pollenallergenität durch den Klimawandel beeinflusst wird. Höhere Temperaturen sowie der Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Luft beeinflussen das Pflanzenwachstum, die Pollensaison und die -produktion, sie führen aber auch zu einer Erhöhung der in den Pollen enthaltenen allergenen Eiweißstoffe. Dies bewirkt, dass die Pollen



stärkere allergische Reaktionen verursachen (Buters et al. 2008). Ferner ist auch die Ozonkonzentration eine wichtige Einflussgröße auf die Pollenallergenität und die Pflanzenpopulation. Auch Stickstoffdioxid kann auf sensitive Pflanzen Einfluss nehmen und Blattwachstum sowie Ertrag beeinflussen. Hierbei besteht allerdings nach Beck et al. (2013) noch Klärungsbedarf über die verknüpfte Wirkung von Ozon, Kohlenstoffdioxid, Stickstoffdioxid und Lufttemperatur.

Ein signifikanter Anstieg der saisonalen Pollenkonzentration sowie eine längere Dauer der Pollensaison konnte auch für Standorte auf der Nordhalbkugel festgestellt werden. Auch der Anstieg der frostfreien Tage pro Jahr korreliert signifikant mit der Zunahme der Pollenbelastung und der Dauer der Pollensaison. Im Hinblick auf die Ermittlung von sicheren Orten für Allergiekranke ist insbesondere diese Korrelation zwischen frostfreien Tagen und der Pollenkonzentration bzw. -saison entscheidend. Mit steigenden Temperaturen bedingt durch den Klimawandel muss folglich in Regionen wie den Alpen von einer Zunahme der frostfreien Tage ausgegangen werden, wodurch gleichzeitig aufgrund der erhöhten Pollenexposition auch ein höheres Risiko für Allergiker:innen entsteht (Ziska et al. 2019; Damialis et al. 2019; Kinney 2008; Shea et al. 2008; Heuson u. Traidl-Hoffmann 2018; Picornell et al. 2019).

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Pollenexposition sind vorherrschende Wetterlagen. So können vor allem kleine und leichte Pollen bei konstanten Winden über größere Distanzen transportiert werden (Long-Distance-Transport) und die Pollenkonzentration in der Luft stark beeinflussen. Der Zusammenhang zwischen meteorologischen Faktoren und der Pollenkonzentration wurde vor allem mit allergenen Pollenarten untersucht. Eine in Grönland durchgeführte Studie zeigt beispielsweise potenzielle Ferntransport-Wege (Long-Distance-Transport), die in einer Höhe von circa 630 m vom Osten der USA über Neufundland und die Labradorsee nach Grönland reichen (Rousseau

et al. 2003; Buters et al. 2012). Veränderungen von atmosphärischen Zirkulationsmustern durch den Klimawandel sind folglich ein wichtiger Bestandteil zur Quantifizierung der Pollenkonzentration sowie der Allergenexposition und Gegenstand aktueller interdisziplinärer Forschung.

Eine Veränderung der globalen Vegetationszonen ist ebenfalls eine Folge des Klimawandels. Durch die Veränderung der Umweltfaktoren wie Temperatur, Niederschlag oder frostfreie Tage werden neue Pflanzenarten heimisch. Diese werden auch als invasive Arten bezeichnet. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die Invasion der Ambrosiapflanze.

Ambrosia artemisiifolia (Beifußblättriges Traubenkraut) besitzt besonders stark allergene Pollen und gilt nach Einschätzung der Europäischen und Mediterranen Pflanzenschutzorganisation (EPPO) als gebietsfremde und invasive Pflanzenart. Gemäß der Pflanzenschutzverordnung vom 28. Februar 2001 (PSV, SR 916.20) besteht in der Schweiz bereits eine Meldepflicht der Fundorte. Diese Meldepflicht ist von zentraler Bedeutung, um der Ausbreitung nachhaltig entgegenzuwirken und eine weitere Verbreitung zu verhindern (<http://www.ambrosia.ch/>). In Österreich existieren bereits Hinweise auf einen Anstieg der Langzeittrends bei ambrosiaspezifischen Antikörpern bei Patient:innen mit inhalationsallergischen Erkrankungen (Buters et al. 2008; Smith et al. 2013; Buters et al. 2015; El Kelish et al. 2014; Rauer et al. 2020; Zhao et al. 2017, 2016). Aus diesem Grund sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die regionale Verbreitung von Ambrosia von zentraler Bedeutung.

Drei Ambrosia-Arten treten in Europa auf: *Ambrosia artemisiifolia*, *trifida* und *psilostachya*. Besonders relevant ist *Ambrosia artemisiifolia* aufgrund der langen Keimfähigkeit. Abbildung 1 zeigt die Modellierung der geografischen Verteilung der drei Ambrosia-Arten sowie die Modellprojektion auf die IPCC-Klimaszenarien RCP6.0 und RCP8.5 (Rasmussen et al. 2017).

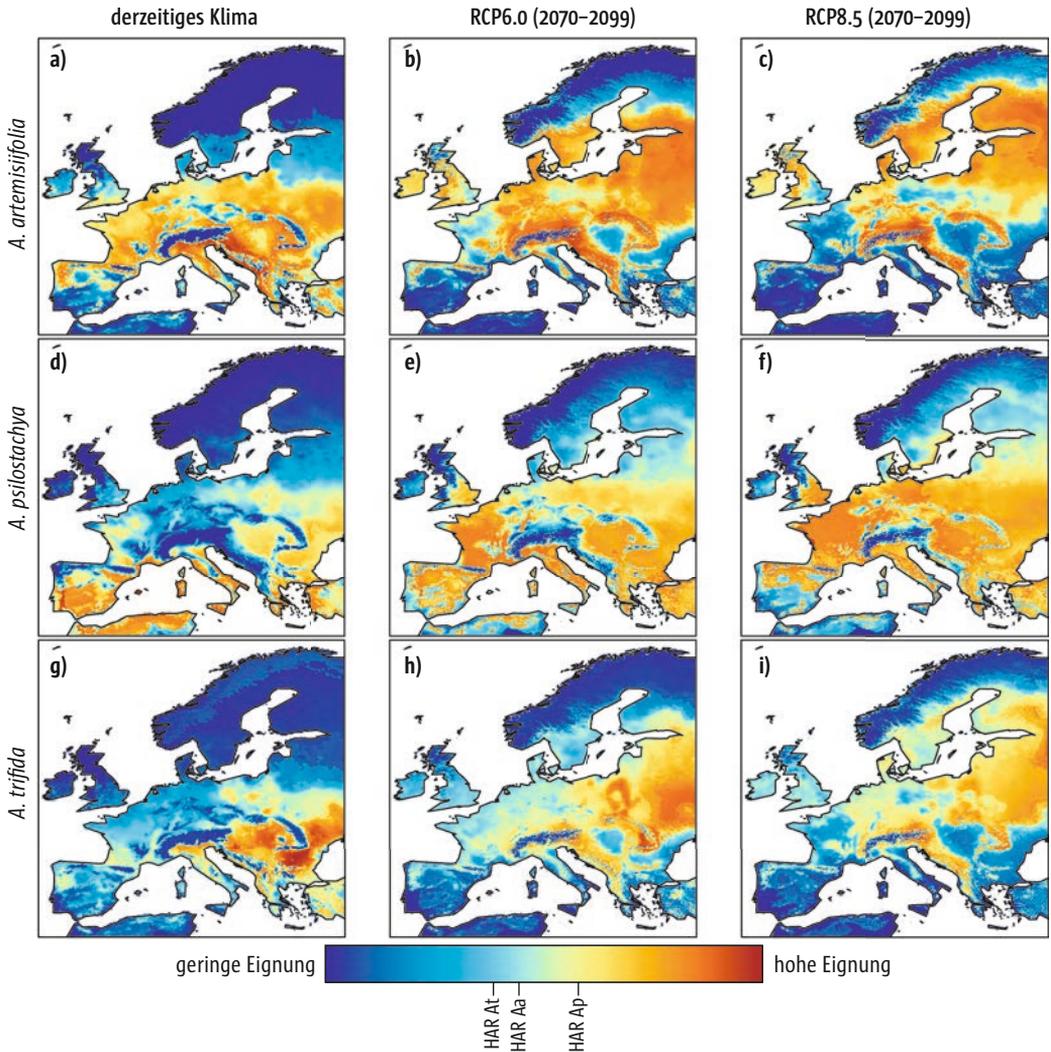


Abb. 1 Habitataignung in Europa von drei Ambrosia-Arten. Dargestellt sind die gegenwärtigen Klimabedingungen sowie die zukünftigen IPCC-Klima-Szenarien RCP6.0 und RCP8.5 für die Jahre 2070 bis 2099. Die Karten zeigen durchschnittliche Werte aus dem MAXENT-Modell, welche aus 15 Wiederholungen abgeleitet wurden (modifiziert nach Rasmussen et al. 2017, Creative Commons-Lizenz CC-BY 4.0).

Die Karten der zukünftigen Habitataignung für Ambrosia (s. Abb. 1) zeigen eine enorme Ausdehnung der Gebiete mit „hohem Allergierisiko“ in Richtung Nord- und Osteuropa. Unter diesem Szenario werden neue potenzielle Lebensräume für Ambrosien in Dänemark, Frankreich, Deutschland, Russland und den

baltischen Ländern entstehen sowie in dicht besiedelten Städten wie Paris und St. Petersburg (Rasmussen et al. 2017).

Die Invasion der Ambrosia zeigt deutlich auf, welche enormen Herausforderungen bedingt durch den Klimawandel auf die medizinische Versorgung zukommen. Dennoch ist er nur ein

Aspekt dessen, was zu erwarten ist. Schadstoffe haben verschiedenste Wirkung auf die Umwelt. Aus diesem Grund werden beispielsweise im IPCC-Report 2014 verschiedenste Szenarien analysiert und der Einfluss auf den globalen Klimawandel abgeschätzt. Indirekt wirkt sich die Umweltbelastung mit Schadstoffen darauf aus, wie hoch die Anfälligkeit gegenüber Allergien ist. Schadstoffe beeinflussen die Durchlässigkeit der Hautbarriere und erhöhen die Anfälligkeit für asthmatische Erkrankungen.

10.3 Empfehlungen für die medizinische Versorgung

Allergische Erkrankungen wie die allergische Rhinokonjunktivitis (im Folgenden allergische Rhinitis) und ihre Folgeerkrankungen (wie allergisches Asthma bronchiale) haben für jeden Betroffenen, aber auch für die Volkswirtschaft insgesamt eine enorme Bedeutung. „Jede zehnte Krankenschreibung in Deutschland wird einem allergischen Krankheitsbild zugeordnet. Die direkten Krankheitskosten für die allergische Rhinitis betragen bereits in den 1990er-Jahren mehrere Hundert Millionen Euro. Nicht nur die direkt durch die Erkrankung verursachten Kosten, sondern auch die teils schwierig zu messenden indirekten Kosten belasten die Gesundheitssysteme“ – so die S2k-„Leitlinie zur (allergen-)spezifischen Immuntherapie bei IgE-vermittelten allergischen Erkrankungen“ (Pfaar et al. 2014). Trotz dieser immensen Kosten kann man in Deutschland davon ausgehen, dass nur etwa 6–30% der von einer allergischen Rhinitis Betroffenen eine spezifische Immuntherapie (SIT) erhalten (Biermann et al. 2013; Schmitt et al. 2016; Klimek et al. 2019).

Der o.g. Leitlinie (Pfaar et al. 2014) ist folgendes zu entnehmen: Personen mit einer allergischen Rhinitis haben ein 3,5-fach erhöhtes relatives Risiko, in weniger als zehn Jahren an einem Asthma bronchiale zu erkranken (sog. Etagenwechsel). Therapieoptionen bestehen in der Allergenkarrenz, der symptomatischen Therapie mit Medikamenten, sowie der SIT mit Al-

lergenextrakten. Die SIT hat sowohl kurative wie präventive Wirkungen, mit denen sie den individuellen Krankheitsverlauf günstig beeinflussen kann. Durch die SIT kann das Risiko eines Etagenwechsels (von der allergischen Rhinitis hin zum Asthma) und die Entstehung neuer Allergien bei vielen Behandelten verhindert werden. Die SIT ist bei allergischer Rhinitis und allergischem Asthma langfristig im Vergleich zur Pharmakotherapie deutlich kosteneffektiver.

10.4 Die Allergologie stärken – für eine adäquate allergologische Versorgung

Das „Patientenmanagement“ bei Allergien „überschreitet bei Weitem den normalerweise üblichen Zeitbedarf einer ärztlichen Konsultation im ambulanten Bereich; leider gibt es hierfür keinerlei extra Vergütungssysteme, auch nicht in der GOÄ, während dort z.B. unter Ziffer 30 für die homöopathische oder schmerztherapeutische Erstanamnese bei chronisch Schmerzkranken spezielle Anamnesesätze angerechnet werden dürfen“ (Klimek et al. 2019).

In einer großen Versorgungsstudie zur Allergologie, der sog. „Wasem-Studie“ (Biermann et al. 2013) wurden die Abrechnungsziffern analysiert, die bei Indikationen aus dem Bereich Allergie und Asthma gegenüber den gesetzlichen Krankenkassen geltend gemacht wurden. Die Studie umfasst vier Jahre mit jeweils zehn Millionen Versichertendatensätzen. Das Kernergebnis dieser Auswertung ist beunruhigend: Lediglich 7% der von allergischer Rhinitis und 5% der von allergischem Asthma Betroffenen in Deutschland erhielten eine SIT. Eine andere Studie untersuchte 1.811.094 gesetzlich Versicherte, von denen 2005/2006 6,2% eine allergische Rhinitis hatten und weitere 3,3% diese Erkrankung bis 2011 entwickelten (Schmitt et al. 2016). Ca. 20% der Kinder und 36% der Erwachsenen wurden nur hausärztlich behandelt. Von allen Rhinitiskranken erhielten nur 16,4% eine SIT.

In einer weiteren Versorgungsstudie zur Allergologie in Deutschland wurden zwischen Oktober 2011 und Februar 2012 insgesamt 359 niedergelassene Ärzt:innen befragt, die in ihren Praxen eine allergologische Diagnostik und Therapie anbieten. Es zeigte sich, dass die SIT „relativ konsequent und mit hoher persönlicher Überzeugung“ eingesetzt wurde (Klimek 2014). Allerdings hatten viele der Befragten Bedenken zur zukünftigen Entwicklung allergologischer Tätigkeiten in der eigenen Praxis; etwa 50% hielten sie für sehr oder ziemlich, nur etwa 15% für wenig oder gar nicht gefährdet. Auch die „Wasem-Studie“ (Biermann et al. 2013) kommt zur Schlussfolgerung, dass die Zahl der Arztpraxen, die allergologische Leistungen erbringen, noch weiter sinken wird, und damit auch die Anzahl der SIT-Behandlungen.

In der Gesamtschau zeigen diese Arbeiten, dass es bei Allergiekranke in Deutschland schon heute eine erhebliche Unterversorgung mit SIT gibt. Vor dem Hintergrund der derzeitigen gesundheits- und honorarpolitischen Entwicklungen dürfte sich die Versorgungssituation in den kommenden Jahren sogar eher noch weiter verschlechtern. *„Zumindest regional scheint die Gefahr zu bestehen, dass die Versorgung trotz schon jetzt hohem und voraussichtlich weiter wachsendem Bedarf aus honorarpolitischen Gründen sogar deutlich zurückgefahren wird“* (Klimek 2014). Auch der zunehmende Trend zu Kurzzeitschemata bei der injizierbaren SIT liegt nicht nur an der Zeiterparnis für die Behandelten oder neuen Studiendaten, sondern auch an der mangelhaften Vergütung ärztlicher Leistungen bei der SIT (Klimek et al. 2019). Die kumulative Dosis gehört zu den Faktoren, die die klinische Wirksamkeit der SIT erhöhen und berücksichtigt werden sollten (Pfaar et al. 2014); sie ist in einem Kurzzeitschema nicht optimal umgesetzt.

Die Gründe der Unterversorgung sind vielfältig: Allergologie ist in Deutschland eine Zusatzbezeichnung, die Ärzt:innen unterschiedlicher Fachrichtungen erwerben können. Ein

ausreichendes Versorgungshonorar für allergologische Leistungen wird nicht bereitgestellt. Erschwerend hinzu kam 2009 ein neues Abrechnungssystem (Einführung der Regelleistungsvolumina in die gesetzliche Krankenversicherung).

Die Begründung für die Reduzierung der Erstattung von Leistungen für Allergiekranke liegt paradoxerweise in der Zunahme von Allergien in der Bevölkerung: *„Im Rahmen der vertragsärztlichen Versorgung wurde aufgrund der Leistungsausweitung dringend eine Mengenbegrenzung erforderlich. Das logarithmische Ansteigen der In-vivo- und In-vitro-Allergiediagnostik begründete bei der Kassenärztlichen Bundesvereinigung den Verdacht der Unwirtschaftlichkeit. Unberücksichtigt blieb dabei die Tatsache, dass ein logarithmisches Ansteigen der Erkrankungen zwangsläufig auch zu einem entsprechenden Anstieg diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen führen muss“* (Klimek et al. 2019).

Dem Trend zur Kürzung des Honorars für allergologische Leistungen in der gesetzlichen Krankenversicherung muss unbedingt entgegengewirkt werden, auch und gerade weil die Betroffenzahlen durch den Klimawandel weiter zunehmen werden. So kann auch die Weiterbildung zur Zusatzbezeichnung Allergologie wieder attraktiver gemacht werden (Biermann et al. 2013). Allergologie sollte zum Pflicht- und Prüfungsfach im Medizinstudium werden, was auch die Schaffung entsprechender Lehrstühle beinhaltet. Die kontinuierliche ärztliche Fortbildung in der Allergologie sollte in allen Fachrichtungen verstärkt werden. Auch in der Ausbildung und im Studium der Krankenpflege sollte Allergologie stärker integriert werden.

10.5 Weitere Maßnahmen

Die meisten Antiallergika zur Behandlung der allergischen Rhinitis sind nicht verschreibungspflichtig (OTC) und damit grundsätzlich nicht ordnungsfähig zulasten der gesetzlichen Krankenversicherung. Ausnahmen be-



stehen für bestimmte orale Antihistaminika und nasale Glukokortikoide bei schwerwiegenden Formen. Dass die meisten Betroffenen ihre Medikamente selbst bezahlen müssen, verstärkt die häufig anzutreffende Bagatellisierung ihrer Erkrankung auch durch die Betroffenen selbst. Ein Teil von ihnen sucht daher seltener ärztliche Hilfe, was wiederum eine effektive und nachhaltige Behandlung erschwert. Auch symptomatische Medikamente für die allergische Rhinitis sollten daher von den gesetzlichen Krankenkassen erstattet werden.

Die Verordnungs- und Erstattungsfähigkeit sollte auch für seltene Therapieallergene der SIT erhalten bleiben, wozu auch manche Pollenarten zählen. Wichtig wäre auch eine bessere Standardisierung der Allergenprodukte (Lösungen für die SIT und die Hauttestung) und der Bestimmung der wichtigsten Allergene (sog. Major-Allergene) sowie ihre einheitliche Deklaration. Entsprechende Initiativen (Biological Standardisation Programme, BSP 90) der verantwortlichen Behörden (Paul-Ehrlich-Institut und European Directorate for the Quality of Medicines, EDQM) sollten mit öffentlichen Mitteln weiter unterstützt werden. Verschiedene Faktoren haben zu Engpässen in der Produktion von Diagnostika für Allergien geführt, zum Beispiel von Substanzen zum Hautpricktest. Die Finanzierung für Entwicklung, klinische Prüfung und Herstellung dieser Allergene sollte durch gesetzgeberische Maßnahmen gesichert werden. Die Versorgung mit Diagnostikallergenen sollte über eine Kostenerstattung oder Praxisbedarfsregelung finanziell abgesichert sein (Klimek et al. 2019).

10.6 Verhaltensbezogene Prävention – Was können Betroffene selbst tun?

Sehr häufig werden allergische Erkrankungen von den Erkrankten selbst zunächst nicht so ernst genommen, wie sie es sollten. Nicht alle Betroffenen finden den Weg zum Arzt (Muzaľyova 2019) und nur etwa 6–30% starten mit

einer adäquaten Behandlung (Biermann et al. 2013; Schmitt et al. 2016; Klimek et al. 2019). Kern einer erfolgreichen Therapie bzw. erfolgreichen Prävention des atopischen Marsches oder eines Etagenwechsels ist also zunächst einmal, die Allergien ernst zu nehmen und sich professionelle Hilfe zu suchen.

Darüber hinaus existieren weitere Möglichkeiten, wie der Verlauf der Erkrankung milder gestaltet werden kann.

Für Pollenallergiker:innen bieten sich kleine Tricks an, z.B. das Lüften zur richtigen Tageszeit, das Haare waschen vor dem Schlafengehen oder das Führen eines Symptomtagebuches, welches Aufschlüsse über die Auslöser der Symptome gibt. Pollenmessdaten, wie sie z.B. das Elektronische Pollennetzwerk (ePIN) Bayern liefert, können Anhaltspunkte geben, wann Tür und Fenster vielleicht besser geschlossen bleiben sollten oder der Spaziergang auf der Wiese vielleicht besser verschoben werden sollte.

Forschungsarbeiten zum Thema haben in den letzten Jahren viele neue Erkenntnisse geliefert, die den Betroffenen bei ausreichender Information nützlich sein können. Mittlerweile geht man davon aus, dass das Meiden von bestimmten Lebensmitteln im Kleinkindalter nicht der Allergieentwicklung vorbeugt, im Gegenteil: Kleine Kinder sollten möglichst viele unterschiedliche Lebensmittel kennenlernen und ihr Immunsystem so auf Toleranz trainieren. Vielfalt auf dem Gaumen und im Umfeld, wie z.B. auf dem Bauernhof, scheint widerstandsfähiger gegenüber Allergien zu machen (von Mutius 2016; Kirjavainen et al. 2019).

10.7 Empfehlungen für Weichenstellungen vonseiten der Politik und Gesellschaft

Was die behandelnden Mediziner:innen und Patient:innen selbst zum Management der Erkrankungen beitragen können, wird voraussichtlich nicht allein ausreichend sein, um die Versorgungssituation von Allergiebetroffenen

nachhaltig zu verbessern. Weichenstellungen vonseiten der Politik könnten positiven Veränderungen enormen Vorschub leisten. Im aktuellen „Weißbuch Allergie in Deutschland“ (Klimek et al. 2019) haben führende deutsche Allergolog:innen umfassende Vorschläge erarbeitet, wie eine Verbesserung der Situation für Allergiker:innen erreicht werden könnte.

Ein zentraler Aspekt hierbei ist die Förderung von Forschung. Noch sind viele Zusammenhänge in Bezug auf die Erkrankung nicht ausreichend verstanden und nur die Möglichkeit zu unabhängiger, transdisziplinärer und stark translational ausgerichteteter Forschung kann neue Lösungen für Erkrankte aufzeigen. Die Themen hierfür sind vielfältig. Gerade in der Prävention der Erkrankungen liegt der effektivste Weg, diese zu bekämpfen. Studien, die die Risiken durch Umwelteinflüsse für allergische Erkrankungen klären, die die relevanten Faktoren zur Primärprävention beleuchten oder durch Langzeitbeobachtung die Gesundheit fördernde sowie den Krankheitsverlauf negativ beeinflussende Faktoren identifizieren und bestätigen helfen, könnten erheblich zu einer Verminderung der Inzidenz allergischer Erkrankungen beitragen. Aber auch die Grundlagenforschung ist enorm wichtig: Die Pathomechanismen und molekularen Prozesse der Allergieentwicklung sind noch teilweise ungeklärt; genauere Kenntnisse in diesem Bereich können neue Therapieansätze aufzeigen. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung sollte im Bereich der Diagnostik und Therapie ansetzen: bei der Wirkungsweise der SIT, ihren Langzeiteffekten sowie bei geeigneten Biomarkern (für die Auswahl der zu Behandelnden und auch für die Prognose des Therapieerfolges). Dies könnte die Versorgung der Patient:innen effektiver und auch kosteneffizienter gestalten. Nicht zuletzt könnte Versorgungsforschung die Effizienz der SIT, den Gewinn an Lebensqualität und die Kostenersparnis durch die konsequentere Behandlung evident machen.

Im Informieren und Unterstützen von Selbsthilfegruppen und Patientenverbänden

liegt ein weiterer Schlüssel für die bessere Bewältigung der Situation. Bundesweite Informationskampagnen, die aufklären und Präventionsmaßnahmen bekannt machen, können sehr viel bewirken. Beispielhaft sei hier die 2007–2008 gemeinsam durchgeführte Präventionskampagne aller Unfallversicherungsträger und der gesetzlichen Krankenversicherung „Deine Haut. Die wichtigsten 2 m² Deines Lebens“ erwähnt (Rogosky u. Zeck 2009). Sie führte u. a. zu mehr Aufmerksamkeit für den Sonnenschutz in der Bevölkerung und Wissenszuwachs über Hautschutz in den Betrieben. Langfristige präventive Auswirkungen sind derzeit noch nicht abschätzbar. Es wäre sinnvoll, den bei allergischer Rhinitis drohenden Etagenwechsel bis hin zum Asthma bronchiale oder die durch (leicht vermeidbaren) Tabakrauch erhöhte Gefahr, Allergien zu entwickeln, in ähnlicher Weise bekannt zu machen. Die bereits entwickelten Patientenschulungen zu Neurodermitis und Anaphylaxie sollten – ähnlich wie die für Asthma – allen Betroffenen zur Verfügung stehen und von den Krankenkassen erstattet werden. Die Schulung von erziehendem und lehrendem Personal würde zu einer besseren Situation von allergiekranken Kindern beitragen.

Nicht zuletzt könnten Frühdiagnostik für Kinder mit erhöhtem Allergierisiko und gesetzlich vorgeschriebene Vorsorgeuntersuchungen bzw. Berufseingangsberatungen für Berufe, in denen Haut oder Atemwege besonderen Gefährdungen ausgesetzt sind, möglicherweise die Prävalenz von Allergien senken (Klimek et al. 2019).

10.8 Schlussfolgerungen

Bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann die medizinische Versorgung von Allergiekranken nicht als zufriedenstellend betrachtet werden. Im Zuge des Klimawandels wird sich die Zahl der Erkrankten und bei Pollenallergiker:innen die Zahl der Monate pro Jahr erhöhen, an denen

Symptome auftreten. Eine verbesserte Information und Behandlung der Patient:innen sowie Weichenstellungen im Rahmen der Gesundheitspolitik sind erforderlich, um diesen Zustand zu verbessern. Allein der wirtschaftliche Schaden durch die Erkrankung, der im Zuge des Klimawandels noch ansteigen wird, ruft nach weiterer, intensiver Forschungstätigkeit. Für die Prävention von allergischen Erkrankungen ist eine komplexe Betrachtung der relevanten Umweltfaktoren ebenso entscheidend wie inter- und transdisziplinäre Forschungsansätze. Wirtschaftliche und gesellschaftliche Betrachtungsweisen müssen miteinander verbunden werden und die Vernetzung von Biowissenschaften, Medizin und Patientengruppen muss weiter fokussiert werden. Dies ist von zentraler Bedeutung bei dem erforderlichen Transformationsprozess, um die immensen Herausforderungen beim Thema Klimawandel und Gesundheit zu bewältigen und damit die Lebensqualität von Allergiekranken zu verbessern.

Literatur

- Beck I, Jochner S, Gilles S, McIntyre M, Buters JTM, Schmidt-Weber C, Behrendt H, Ring J, Menzel A, Traidl-Hoffmann C (2013) High Environmental Ozone Levels Lead to Enhanced Allergenicity of Birch Pollen. *PLoS ONE* 8, e80147.
- Biedermann T, Winther L, Till SJ, Panzer P, Knulst A, Valovirta E (2019) Birch pollen allergy in Europe. *Allergy* 74, 1237–1248.
- Biermann J, Merk HF, Wehrmann W, Klimek L, Wasem J (2013) Allergic disorders of the respiratory tract – findings from a large patient sample in the German statutory health insurance system. *Allergo Journal* 22, 366–373.
- Buters J, Alberterst B, Nawrath S, Wimmer M, Traidl-Hoffmann C, Starfinger U, Behrendt H, Schmidt-Weber C, Bergmann K-C (2015) *Ambrosia artemisiifolia* (ragweed) in Germany – current presence, allergological relevance and containment procedures. *Allergo Journal International* 24, 108–120.
- Buters JTM, Kasche A, Weichenmeier I, Schober W, Klaus S, Traidl-Hoffmann C, Menzel A, Huss-Marp J, Krämer U, Behrendt H (2008) Year-to-Year Variation in Release of Bet v 1 Allergen from Birch Pollen: Evidence for Geographical Differences between West and South Germany. *International Archives of Allergy and Immunology* 145, 122–130.
- Buters JTM, Thibaudon M, Smith M, Kennedy R, Rantio-Lehtimäki A, Albertini R, Reese G, Weber B, Galan C, Brandao R, Antunes CM, Jäger S, Berger U, Celenk S, Grewling L, Jackowiak B, Sauliene I, Weichenmeier I, Pusch G, Sarioglu H, Ueffing M, Behrendt H, Prank M, Sofiev M, Cecchi L (2012) Release of Bet v 1 from birch pollen from 5 European countries. Results from the HIALINE study. *Atmospheric Environment* 55, 496–505.
- Damialis A (2011) Effects of environmental factors on pollen production in anemophilous woody species. *Trees v. 25*, 253–264.
- Damialis A, Traidl-Hoffmann C, Treudler R (2019) Climate Change and Pollen Allergies In: Marselle, MR, Stadler, J, Korn, H, Irvine, KN, Bonn, A (ed) *Biodiversity and Health in the Face of Climate Change*. Springer International Publishing, Cham, pp. 47–66.
- EAACI (2015) The European Academy of Allergy and Clinical Immunology (EAACI) Advocacy Manifesto Tackling the Allergy Crisis in Europe – Concerted Policy Action Needed. URL: <https://www.eaaci.org/outreach.html> (abgerufen am 19.02.2021)
- El Kelish A, Zhao F, Heller W, Durner J, Winkler J, Behrendt H, Traidl-Hoffmann C, Horres R, Pfeifer M, Frank U, Ernst D (2014) Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: SuperSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress. *BMC Plant Biology* 14, 176.
- Fairweather V, Hertig E, Traidl-Hoffmann C (2020) A brief introduction to climate change and health. *Allergy* 75, 2352–2354.
- Heuson C, Traidl-Hoffmann C (2018) Bedeutung von Klima- und Umweltschutz für die Gesundheit mit besonderer Berücksichtigung von Schädigungen der Hautbarriere und allergischen Folgeerkrankungen. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 61, 684–696.
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Part_A_FINAL.pdf (abgerufen am 05.03.2021)
- Jochner S, Höfler J, Beck I, Göttlein A, Ankerst DP, Traidl-Hoffmann C, Menzel A (2013) Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? *Journal of Experimental Botany* 64, 2081–2092.
- Kasprzyk I, Borycka K (2019) Alder pollen concentrations in the air during snowfall. *International Journal of Biometeorology* 63, 1651–1658.
- Kinney PL (2008) Climate Change, Air Quality, and Human Health. *American Journal of Preventive Medicine* 35, 459–467.
- Kirjavainen PV, Karvonen AM, Adams RI, Täubel M, Roponen M, Tuoresmäki P, Loss G, Jayaprakash B, Depner M, Ege MJ, Renz H, Pfefferle PI, Schaub B, Lauener R, Hyvärinen A, Knight R, Heederik DJJ, von Mutius E, Pekkanen (2019) Farm-like indoor microbiota in non-farm homes protects children from asthma development. *J. Nat Med* 25, 1089–1095.
- Klimek L (2014) Allergologie in Deutschland: Innovativ – und dennoch ausgebremst. URL: <https://deutsch.medscape.com/artikel/4901012> (abgerufen am 19.02.2021).
- Klimek L, Vogelberg C, Werfel T (2019) *Weißbuch Allergie in Deutschland*. Springer Medizin Verlag, Berlin, Heidelberg.

- Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheffinger H, Striz M, Susnik A, Van Vliet AJH, Wielgolaski F-E, Zach S, Züst A (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12, 1969–1976.
- Muzalyova A, Brunner JO, Traidl-Hoffmann C (2019) Pollen allergy and health behavior: patients trivializing their disease. *Aerobiologia* 35, 327–341.
- Pfaar O, Bachert C, Bufe A, Buhl R, Ebner C, Eng P, Friedrichs F, Fuchs T, Hamelmann E, Hartwig-Bade D, Hering T, Huttegger I, Huttegger I, Jung K, Klimek L, Kopp MV, Merk H, Rabe U, Saloga J, Schmid-Grendelmeier P, Schuster A, Schwerk N, Sitter H, Umpfenbach U, Wedi B, Wöhrl S, Worm M, Kleine-Tebbe J, Kaul S, Schwalfenberg A (2014) Leitlinie zur (allergen-)spezifischen Immuntherapie bei IgE-vermittelten allergischen Erkrankungen: S2k-Leitlinie. *Allergo Journal* 23, 28–67.
- Picornell A, Buters J, Rojo J, Traidl-Hoffmann C, Damialis A, Menzel A, Bergmann KC, Werchan M, Schmidt-Weber C, Oteros J (2019) Predicting the start, peak and end of the Betula pollen season in Bavaria, Germany. *Science of The Total Environment* 690, 1299–1309.
- Rasmussen K, Thyrring J, Muscarella R, Borchsenius F (2017) Climate-change-induced range shifts of three allergenic ragweeds (*Ambrosia* L.) in Europe and their potential impact on human health. *PeerJ* 5, e3104.
- Rauer D, Gilles S, Wimmer M, Frank U, Mueller C, Musiol S, Vafadari B, Aglas L, Ferreira F, Schmitt-Kopplin P, Durner J, Barbro Winkler J, Ernst D, Behrendt H, Schmidt-Weber CB, Traidl-Hoffmann C, Alessandrini F (2020) Ragweed plants grown under elevated CO₂ levels produce pollen which elicit stronger allergic lung inflammation. *Allergy*. doi: 10.1111/all.14618.
- Ring J, Akdis C, Behrendt H, Lauener RP, Schäppi G, Akdis M, Ammann W, de Beaumont O, Bieber T, Bienenstock J, Blaser K, Bochner B, Bousquet J, Cramer R, Custovic A, Czerkinsky C, Darsov U, Denburg J, Drazen J, de Villiers EM, Fire A, Galli S, Haahtela T, zur Hausen H, Hildemann S, Holgate S, Holt P, Jakob T, Jung A, Kemeny M, Koren H, Leung D, Lockey R, Marone G, Mempel M, Menné B, Menz G, Mueller U, von Mutius E, Ollert M, O'Mahony L, Pawankar R, Renz H, Platts-Mills T, Roduit C, Schmidt-Weber C, Traidl-Hoffmann C, Wahn U, Rietschel E (2012) Davos Declaration: allergy as a global problem. *Allergy* 67, 141–143.
- Ring J, Akdis C, Lauener R, Schäppi G, Traidl-Hoffmann C, Akdis M, Ammann W, Behrendt H, Bieber T, Biedermann T, Bienenstock J, Blaser K, Braun-Fahrlander C, Brockow K, Buters J, Cramer R, Darsov U, Denburg JA, Eyerich K, Frei R, Galli SJ, Gutermauth J, Holt P, Koren H, Leung D, Müller U, Muraro A, Ollert M, O'Mahony L, Pawankar R, Platts-Mills T, Rhyner C, Rosenwasser IJ, Schmid-Grendelmeier P, Schmidt-Weber CB, Schmutz W, Simon D, Simon HU, Sofiev M, van Hage M, van Ree R (2014) Global Allergy Forum and Second Davos Declaration 2013 Allergy: Barriers to cure – challenges and actions to be taken. *Allergy* 69, 978–982.
- Rogosky E, Zeck S (Redaktionelle Leitung). Die Präventionskampagne Haut. Deine Haut. Die wichtigsten 2 m² Deines Lebens. Abschlussbericht 2009. URL: https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/kampagnen/praev_kampagnen/kampagne_haut/abschlussbericht.pdf (abgerufen am 19.02.2021).
- Rousseau D-D, Duzer D, Cambon G, Jolly D, Poulsen U, Ferrier J, Schevin P, Gros R (2003) Long distance transport of pollen to Greenland: POLLENS AS A TRACER. *Geophysical Research Letters* 30, 1765.
- Schmitt J, Stadler E, Küster D, Wüstenberg EG (2016) Medical care and treatment of allergic rhinitis: a population-based cohort study based on routine healthcare utilization data. *Allergy* 72, 850–858.
- Shea KM, Truckner RT, Weber RW, Peden DB (2008) Climate change and allergic disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 122, 443–453.
- Smith M, Cecchi L, Skjøth CA, Karrer G, Šikoparija B (2013) Common ragweed: A threat to environmental health in Europe. *Environment International* 61, 115–126.
- Traidl-Hoffmann C (2017) Allergie – eine Umwelterkrankung! *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60, 584–591.
- Traidl-Hoffmann C, Treudler R, Pryzbilla B, Kapp A, Zuberbier T, Werfel T (2014) Die Arbeitsgemeinschaft Allergologie in der DDG. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft* 12, 46–48.
- von Mutius E (2016) The microbial environment and its influence on asthma prevention in early life. *J Allergy Clin Immunol* 137, 680–689.
- Zhao F, Durner J, Winkler JB, Traidl-Hoffmann C, Strom T-M, Ernst D, Frank U (2017) Pollen of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): Illumina-based de novo sequencing and differential transcript expression upon elevated NO₂/O₃. *Environmental Pollution* 224, 503–514.
- Zhao F, Elkelish A, Durner J, Lindermayr C, Winkler JB, Ruëff F, Behrendt H, Traidl-Hoffmann C, Holzinger A, Kofler W, Braun P, von Toerne C, Hauck SM, Ernst D, Frank U (2016) Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.): allergenicity and molecular characterization of pollen after plant exposure to elevated NO₂: Ragweed pollen allergenicity under elevated NO₂. *Plant, Cell & Environment* 39, 147–164.
- Ziska LH, Makra L, Harry SK, Bruffaerts N, Hendrickx M, Coates F, Saarto A, Thibaudon M, Oliver G, Damialis A, Charalampopoulos A, Vokou D, Heidmarsson S, Gudjohnsen E, Bonini M, Oh J-W, Sullivan K, Ford L, Brooks GD, Myszkowska D, Severova E, Gehrig R, Ramón GD, Beggs PJ, Knowlton K, Crimmins AR (2019) Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *The Lancet Planetary Health* 3, e124–e131.
- Zuberbier T, Lotvall J, Simoens S, Subramanian S, Church MK (2014) Economic Burden of Inadequate Management of Allergic Diseases in the European Union: a GA(2)LEN Review. *Allergy* 69, 1275–1279.



Dr. Alika Ludwig

Medizinstudium in Regensburg und an der TU München, Promotion an der LMU München. Facharztweiterbildung in der Klinik für Dermatologie und Allergologie des Klinikums Augsburg, dort bis 2019 als Oberärztin tätig. Seit 2020 Arbeit als Oberärztin in der Hochschulambulanz für Umweltmedizin des Universitätsklinikums Augsburg und im Studienzentrum des Lehrstuhls für Umweltmedizin, Universität Augsburg.



Daniela Bayr, Dipl.-Geografin

Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Bio- und Geostatistik der Forschungsgruppe „Aerobiologie“, Lehrstuhl und Institut für Umweltmedizin, Universität Augsburg und Helmholtz Zentrum München (HMGU). Sie forscht insbesondere zu den Themen Interaktion von Umwelt, Klima und Gesundheit mit dem Fokus auf allergische Erkrankungen.



Dr. Melanie Pawlitzki

Promotion im Fach Amerikanistik an der Universität Augsburg. Seit 2020 arbeitet sie am Lehrstuhl und Institut für Umweltmedizin, Universität Augsburg und Helmholtz Zentrum München (HMGU) im Bereich Wissenschaftskommunikation.



Prof. Dr. med. Claudia Traidl-Hoffmann

Die Arbeit von Claudia Traidl-Hoffmann richtet sich primär auf die Erforschung und Prävention von umweltbedingten Krankheiten, wie z.B. Allergien, und auf Wege, Resilienz und Gesundheit zu stärken.

Als Ordinaria des Lehrstuhls für Umweltmedizin der Universität Augsburg und Direktorin des Instituts für Umweltmedizin des Helmholtz Zentrums München arbeitet sie innerhalb eines Netzwerks international renommierter Institutionen, um Veränderung im Medizinsektor und in der Gesellschaft voranzutreiben.

11 Der Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung von Infektionserkrankungen – am Beispiel der Lyme-Borreliose

Martín Lotto-Batista, Christiane Behrens und Stefanie Castell

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit. DOI 10.32745/9783954666270-11, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Durch Zecken übertragene Erkrankungen gehören zu den häufigsten klimasensitiven Infektionserkrankungen auf der Nordhalbkugel. Lyme-Borreliose weist dabei die höchste Prävalenz unter diesen Erkrankungen in Europa, wo *Ixodes ricinus* (Gemeiner Holzbock) sehr verbreitet ist, auf. Mit fortschreitendem Klimawandel ändern sich die Bedingungen für die Verbreitung von Zeckenpopulationen, zum einen aufgrund von Temperatur- oder Niederschlagsveränderungen, zum anderen wegen Änderungen in der Landnutzung sowie im menschlichen Verhalten. Während für Nordeuropa eine vermehrte Ausbreitung der Zecken erwartet wird, könnten vermehrte Trockenheit und Hitzeepisoden einen Rückgang der Zeckenpopulationen in mittleren und südlichen Regionen, die gegenwärtig Risikogebiete sind, bewirken. Folglich könnte Deutschland von den schlechteren Bedingungen für das Überleben von Zecken profitieren. Dennoch ist das komplexe System, das zur Entwicklung der Borreliose-Fallzahlen beiträgt, flexibel genug, um diesen Klimaeffekten entgegenzuwirken. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels auf das Risiko von Borreliose in Deutschland vorhersagen zu können. Wenn immer mehr detailliertere Klimaprojektionen verfügbar werden, sollten Vorhersagen, die zu verbesserten oder regional spezifischeren

Public Health-Empfehlungen führen, in naher Zukunft machbar sein.

Tick-borne infectious diseases are amongst the most common climate sensitive infectious diseases in the northern hemisphere. Lyme borreliosis is the most prevalent disease transmitted by ticks in Europe where *Ixodes ricinus* circulates in a vast extension of the region. As climate change progresses, conditions for tick distribution change, either because of shifts in temperature or precipitation, or because of modifications in land use and human behavior. While ticks are expected to expand towards/in northern Europe, drier conditions and heat waves could have a negative feedback on current risk areas in the middle or the south. As a result, Germany could benefit from more restrictive conditions for tick survival. Nonetheless, the complex system in which borreliosis takes place is flexible enough to counteract these effects. Further research is necessary for predicting the impact of a changing climate in the risk of *Borrelia* infections in Germany. As more detailed climate projections become available, predictions leading to public health recommendations are foreseeable in the near future.

11.1 Einleitung

Klimasensitive Infektionen, also Erkrankungen, die auf klimatische Veränderungen reagieren, sind ein wichtiges Public Health-Thema – regional, national und global (Liang u. Gong 2017). Hitzewellen, Stürme, Dürren und Überschwemmungen beeinflussen das Risiko für bestimmte Erkrankungen (Watts et al. 2015). Unter den verschiedenen klimasensitiven Infektionskrankheiten zeichnen sich von Zecken übertragene Krankheiten wie die Lyme-Borreliose für Europa durch eine besonders hohe Public Health-Relevanz aus, da diese Erkrankung im Vergleich zu anderen vektorübertragenen Krankheiten die meisten Krankheitsfälle beim Menschen verursacht und kein humanmedizinischer Impfstoff zugelassen ist (RKI 2019; Semenza u. Menne 2009). Außerdem ist bereits ein Anstieg der Zeckenhäufigkeiten in verschiedenen Regionen Europas sowie Verschiebungen in der räumlichen Verteilung von Zeckenpopulationen in Richtung höherer Breitengrade und Höhenlagen zu beobachten (Danielová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Soleng et al. 2018). Auf der anderen Seite spiegeln die deutschen Surveillancedaten keinen eindeutigen ansteigenden Trend von gemeldeten Erkrankungsfällen in den letzten Jahren wider (Wilking u. Stark 2014; Enkelmann et al. 2018).

Verschiedene Faktoren spielen in dem komplexen Zusammenspiel, dessen Resultat die Anzahl der Borreliose-Erkrankten in Europa und Deutschland darstellt, eine Rolle: Vorkommen und Aktivität von Zecken und die Verteilung ihrer Wirte, Vegetation, aber auch das Verhalten von Menschen.

Das vorliegende Kapitel möchte einen Überblick über diese Faktoren sowie eine Aussicht auf mögliche Entwicklungen geben, die sich durch den Klimawandel ergeben könnten. Das Kapitel beginnt mit einem Überblick zum Thema Zecken und Lyme-Borreliose sowie der Interaktion des Vektors mit Mensch, Tier und (einer sich verändernden) Umwelt. Anschließend werden anhand einer literaturgestützten Beschreibung aktuelle Hypothesen zur Dyna-

mik der Lyme-Borreliose bei Klimaveränderungen dargestellt. Im letzten Abschnitt werden Strategien für den Umgang mit Lyme-Borreliose und dessen Kontrolle im Hinblick auf die ungewissen klimatischen Szenarien diskutiert.

11.2 Hintergrund

11.2.1 Zecken

Vier Vertreter der *Ixodes*-Zecke, auch Schildzecke genannt, sind auf der Nordhalbkugel für die Übertragung von Lyme-Borreliose verantwortlich: *Ixodes (I.) scapularis* und *I. pacificus* in Nordamerika sowie *I. persulcatus* u. a. in Asien und *I. ricinus* in Europa (Gray 1998). Letztere, auch bekannt als Gemeiner Holzbock, ist im gesamten Bundesgebiet vertreten (Rubel et al. 2014).

Lebens- und Infektionszyklus

Zecken werden durchschnittlich 2–3 Jahre alt, können allerdings auch bis zu sechs Jahre überleben (Van Oort et al. 2020). Sie durchlaufen in ihrer Entwicklung drei Stadien: Larven, Nymphen und adulte Zecken (Randolph 2004). Um sich zu häuten oder fortzupflanzen, ernähren sich Zecken einmal pro Entwicklungsphase (Randolph 2004). Die in Deutschland vorkommende *I. ricinus* ist, was das Wirtsspektrum betrifft, generalistisch. Larven und Nymphen ernähren sich von verschiedenen Tieren, unter anderem Nagetieren und Vögeln (Gray et al. 2016; Lucius u. Loos-Frank 2008), während adulte Zecken insbesondere mittelgroße und große Säugetiere wie Rehe und Nutzvieh stechen (Gray et al. 2016). Im Durchschnitt sind etwa 14% der Zecken in Europa mit Borrelien infiziert, in Deutschland in der Region Hannover z. B. ca. 24%, und Adulte zu einem höheren Anteil als Nymphen (Rauter u. Hartung 2005; Blazejak et al. 2018). Zecken können in allen Stadien Menschen befallen (Lucius u. Loos-Frank 2008), die Übertragung von Infektionen erfolgt

jedoch hauptsächlich durch Nymphen und adulte Zecken (Hunfeld u. Brade 2012).

Als *questing* wird die von Zecken verwendete Strategie bezeichnet, mit der sie neue Wirte finden. Beim *questing* klettern Zecken je nach Entwicklungsstadium auf Pflanzen verschiedener Höhen und warten auf einen geeigneten Wirt (Gilbert et al. 2014). Nach dem *questing* erholen sich die Zecken am Boden, wo die Luftfeuchtigkeit hoch ist und der Wasserhaushalt wieder ausgeglichen werden kann (Kilpatrick et al. 2017; Mejlon u. Jaenson 1997). Vermutet wird, dass neben den allgemeinen klimatischen Bedingungen in der Umgebung eine ausreichend hohe Feuchtigkeit am Boden, z.B. in einer dichten Kraut-, Strauch- und Laubschicht, die auch in Dürreperioden das Überleben der Zecken sichert, einen entscheidenden Einfluss auf die Zeckenaktivität hat (Boehne et al. 2017; Schwarz et al. 2009). Aus diesem Grund bevorzugen Zecken Habitate, in denen sie sich in eine bodendeckende Streuschicht aus beispielsweise Laub und Efeu zurückziehen können (Hauck et al. 2020; Schwarz et al. 2009). Um eine Austrocknung zu vermeiden, sollte die relative Luftfeuchtigkeit ausreichend hoch sein (Ostfeld u. Brunner 2015). Es handelt sich hierbei um ein komplexes Geschehen im Zusammenspiel von Temperatur und Feuchtigkeit (Kahl u. Knülle 1988; Ostfeld u. Brunner 2015). In Nord- und Zentraleuropa praktizieren Nymphen und Adulte das *questing* am häufigsten im Frühling und Frühsommer, während ein weiterer geringerer Höhepunkt im Herbst auftritt (Gray et al. 2016; Hauck et al. 2020). Wenn die Temperaturen fallen und die Tageslichtstunden weniger werden, reduzieren bzw. stoppen Zecken alle Aktivitäten (Randolph 2004). Für *questing* ist eine durchschnittliche tägliche Maximaltemperatur von über 7°C über mehrere Tage notwendig (Perret et al. 2000). Allerdings tendieren Zecken aus kälteren Regionen dazu, *questing* auch während niedrigerer Temperaturen durchzuführen (Gilbert et al. 2014). Bei höheren Temperaturen ist in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit ebenfalls ein Rückgang des *questings* zu beobachten (Randolph 2004).

Verbreitung

Zecken finden sich beispielsweise in Wäldern, Buschzonen und städtischen Parks (Hauck et al. 2020; Hunfeld u. Brade 2012). Eine hohe Nymphendichte wurde in Laub- und Mischwäldern beschrieben und eine niedrigere Dichte für Nadelwälder, Parks, Gras und Heide, was darauf zurückzuführen ist, dass Zecken in offener und niedriger Vegetation und Nadelwäldern häufig trockeneren Wetterbedingungen ausgesetzt sind (Hauck et al. 2020; Lindström u. Jaenson 2003).

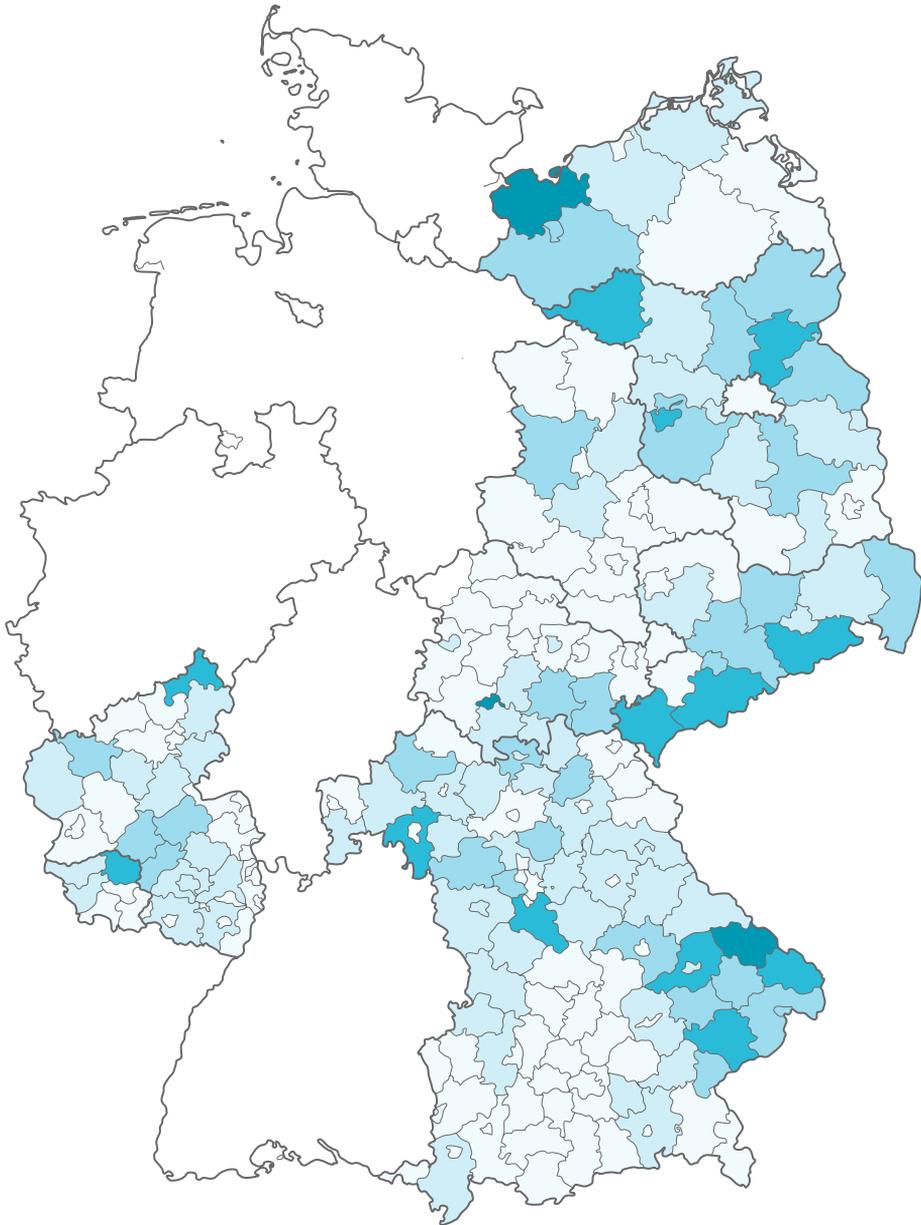
Die klimatischen Bedingungen allein reichen allerdings nicht aus, um die räumlich-zeitliche Verteilung von Zecken zu verstehen. Die Verfügbarkeit von Wirten ist zudem entscheidend für ihre Ausbreitung, Entwicklung sowie den Infektionsprozess und muss daher in die Betrachtung von möglichen Änderungen der geografischen Verteilung von Zecken im Kontext von Klimawandel einbezogen werden (Fernández-Ruiz u. Estrada-Peña 2020).

In den letzten Jahren konnte beobachtet werden, dass Zeckenpopulationen sich innerhalb von Europa nach Norden sowie in größere Höhen ausbreiten (Danielová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Soleng et al. 2018). In Schweden z.B. fördern Hirsche die Verbreitung von *I. ricinus* in neue Gebiete (Jaenson et al. 2012).

11.2.2 Borreliose

Erkrankung

Das Bakterium *Borrelia (B.) burgdorferi* wurde in den 80ern als Ursache der Lyme-Erkrankung identifiziert (Johnson et al. 1984). Verursacht wird Borreliose durch eine Infektion mit *B. burgdorferi sensu lato*. In Europa werden fünf humanpathogene Spezies beobachtet (Hunfeld u. Brade 2012). Eine Zecke muss im Durchschnitt mehrere Stunden saugen, bevor der Erreger erfolgreich übertragen wird; das Infektionsrisiko mit Borrelien steigt somit mit der Zeit an (Hunfeld u.



Fälle/100.000 Einwohner:innen

100 km

keine Daten verfügbar 0 bis 30 > 30 bis 60 > 60 bis 90 > 90 bis 120 > 120

Abb. 1 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019 (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, <https://survstat.rki.de>, Abfragedatum: 11.11.2020)

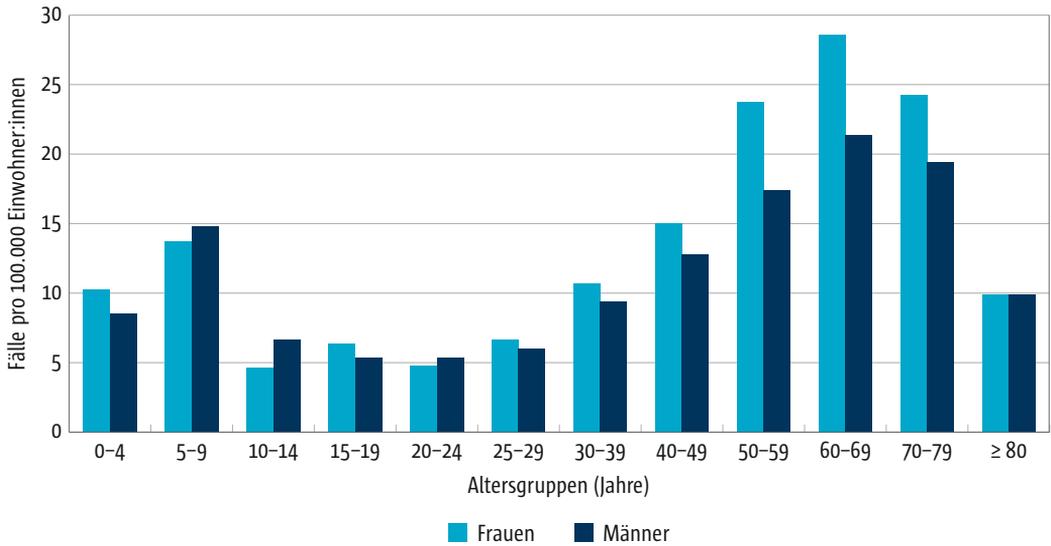


Abb. 2 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019, stratifiziert nach Alter und Geschlecht (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, <https://survstat.rki.de>, Abfragedatum: 11.11.2020)

Brade 2012). Neben Borreliose können Zecken in Europa auch Erkrankungen wie die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen.

Epidemiologie der Borreliose in Deutschland

Borreliose ist gegenwärtig die am häufigsten durch Zecken übertragene Erkrankung in Europa (Semenza u. Menne 2009). Serologischen Analysen zufolge liegt die gewichtete Antikörperprävalenz der deutschen Bevölkerung bei ca. 10% (Wilking et al. 2015). Basierend auf Abrechnungsdaten wird in Deutschland von etwa 214.000 jährlichen Neuerkrankungen ausgegangen, wobei eine Überschätzung z.B. aufgrund der komplexen Diagnostik nicht ausgeschlossen werden kann (Müller et al. 2012). Seit 2001 wurde sukzessive eine Meldepflicht von bestimmten klinischen Borreliose-Manifestationen in verschiedenen Bundesländern eingeführt und besteht aktuell in 9 Ländern (RKI 2004, 2019). Derzeit sind damit 42% der deut-

schen Bevölkerung in die Surveillance eingeschlossen (Enkelmann et al. 2018). Da in Deutschland kein einheitliches System zur Surveillance von Borreliose vorhanden ist, sind aktuell keine Meldedaten für ganz Deutschland verfügbar (RKI 2019). Zwischen 2013 und 2017 wurden insgesamt 56.446 Fälle von Borreliose gemeldet – ohne einen deutlich zu- oder abnehmenden jährlichen Trend aufzuweisen (Enkelmann et al. 2018).

Das saisonale Muster der Borreliose-Erkrankungen ist in Deutschland in den letzten Jahren stabil geblieben (Enkelmann et al. 2018). Die meisten Erkrankungen beginnen zwischen Juni und September (Enkelmann et al. 2018; Wilking u. Stark 2014). Die räumliche Verteilung der gemeldeten Fälle ist heterogen (s. Abb. 1).

Aus demografischer Sicht weist die Erkrankung eine bimodale Verteilung mit einem ersten Gipfel zwischen dem fünften und neunten Lebensjahr und zwischen 60 und 69 Jahren auf (s. Abb. 2). Die Geschlechterverteilung der Borreliosefälle ist nicht eindeutig: Während

surveillancebasierte Veröffentlichungen zeigen, dass die knappe Mehrheit der Fälle Frauen betrifft (Enkelmann et al. 2018; Wilking u. Stark 2014), ergeben Untersuchungen der Seroprävalenz in Deutschland gegenteilige Ergebnisse (Wilking et al. 2015; Dehnert et al. 2012).

11.2.3 Exposition des Menschen mit Zecken

Da sich Zecken wie oben ausgeführt z.B. in Wäldern finden lassen, treffen Menschen und Zecken in der Regel durch Aufenthalte im Freien aufeinander. Entsprechend lässt sich ein positiver Serostatus eher bei Menschen, die auf dem Land leben, finden (Wilking et al. 2015). Hinsichtlich Haustierhaltung sind die Studienergebnisse widersprüchlich: Wilking et al. beobachteten keinen Einfluss auf den Serostatus durch Hunde- oder Katzenhaltung im Haus (Wilking et al. 2015), während Dehnert et al. eine erhöhte Chance für Seropositivität bei Kindern und Jugendlichen durch Katzenhaltung, nicht jedoch durch Hundehaltung fand (Dehnert et al. 2012).

11.3 Einfluss des Klimawandels auf Borreliose

Borreliose ist eingebettet in ein komplexes System, das Zecken, verschiedene Wirtsarten und Vegetation, Flächennutzung, Wetter bzw. Klima sowie menschliches Verhalten umfasst. Prinzipiell können Veränderungen des Klimas und der Umwelt mit jedem der genannten Aspekte interagieren und Schwankungen in der Krankheitsdynamik auslösen.

11.3.1 Klimawandel und Zecken

Verbreitung

Die seit etwa 1990 beobachteten Veränderungen der klimatischen Bedingungen in Nordeuropa führen dazu, dass sich die Entwicklungszyklen

von Zecken verkürzen (Estrada-Peña u. Fernández-Ruiz 2020). Dies trägt auch dazu bei, dass Zecken zunehmend auch in nördlicheren Regionen und in Höhenlagen zu finden sind (Danilová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Jore et al. 2011; Soleng et al. 2018). Beobachtet werden konnte der Zusammenhang zwischen wärmeren Temperaturen und Veränderungen in der Verteilung von Zecken in Ländern wie Schweden, dem europäischen Russland sowie der Tschechischen Republik (Daniel et al. 2003; Lindgren et al. 2000; Tokarevich et al. 2011). Im Gegensatz dazu könnten Gebiete, die gegenwärtig noch als endemische Standorte gelten, durch das Auftreten von Hitzewellen, Dürren oder Änderungen der Landnutzung nachteilig für Zecken werden (Boeckmann u. Joyner 2014; Li et al. 2019) – dies könnte in Teilen auch für Deutschland zutreffen (Boeckmann u. Joyner 2014). Es ist allerdings davon auszugehen, dass die für Zecken geeignete Fläche in Europa insgesamt um etwa 4 Prozentpunkte zunehmen wird (Boeckmann u. Joyner 2014). Li et al. prognostizieren allerdings für Deutschland für die kommenden Jahrzehnte in den meisten untersuchten Szenarien eine Abnahme der Größe der Hochrisikogebiete von bis zu etwa 25% (Mai, Juni).

Aktivität von Zecken

Wie in Kapitel 11.2.1 ausgeführt, zählen zu den wichtigsten Bedingungen für das Überleben und die Verbreitung von Zecken Temperatur und Feuchtigkeit. Ein Temperaturanstieg in Winter, Frühling und Herbst würde die Dauer der Wertsuche durch Zecken verlängern (Gilbert et al. 2014; Gray et al. 2009; Li et al. 2019). Das *questing* könnte dann z.B. sogar im Winter stattfinden (Dautel et al. 2008). Darüber hinaus beschleunigen höhere Temperaturen die Lebenszyklen der Zecken, sodass sie schneller zwischen den Entwicklungsstadien wechseln können (Estrada-Peña u. Fernández-Ruiz 2020). Modellierungen für Bayern zeigen z.B., dass moderate Jahresdurchschnittstemperaturen im



Vorjahr und wärmere Winter zu höheren Nymphendichten in den Folgejahren führen können (Brugger et al. 2018).

Klimatische Modellierungen für Europa prognostizieren eine Zunahme der Anzahl heißer Tage sowie von Hitzewellen und Trockenperioden (Grillakis et al. 2019; Spinnoni et al. 2018). In Deutschland werden insbesondere für Süddeutschland höhere Temperaturen sowie stärkere und häufigere Dürreperioden vorhergesagt (Hertig 2020; Jacob et al. 2014), wobei das Ausmaß stark vom zugrundeliegenden Szenario abhängt. Diese potenziellen Entwicklungen, welche zu einer Abnahme des Vorkommens bzw. der Aktivität von Zecken führen könnten, werden allerdings möglicherweise durch die Anpassungsfähigkeit von Zecken, die es ihnen ermöglicht, ungünstigen bzw. veränderten klimatischen Bedingungen effizient zu begegnen, (Gilbert et al. 2014) abgeschwächt werden. Auch das Mikroklima des Zeckenhabitats könnte eine entscheidende, ausgleichende Rolle spielen (s.o.).

11.3.2 Klimawandel und Wirte von Zecken

Modellierungsansätze, die Effekte von Klimaänderungen untersuchen und dabei sowohl Veränderungen in der Zecken- als auch in der Wirtsverteilung berücksichtigen, werden als die beste Darstellung des natürlichen Systems angesehen (Fernández-Ruiz u. Estrada-Peña 2020). Verschiedene Wirte tragen zur Aufrechterhaltung bzw. Ausbreitung der Zeckenpopulation bei (Kilpatrick et al. 2017). In Bayern zum Beispiel wurde beobachtet, dass das Vorkommen von Bucheckern, die Säugetiere ernähren, mit höheren Nymphendichten in den Folgejahren korrelierte (Brugger et al. 2018).

Zusätzlich können Aufforstungsprogramme zur Entstehung neuer Risikogebiete führen (Medlock et al. 2013). In einigen Regionen der Vereinigten Staaten wird ein Zusammenhang zwischen wiederaufgeforsteten Ackerflächen, zurückkehrenden Wildtierpopulationen und Borreliose hergestellt (Barbour u. Fish 1993). In

Deutschland wurde die Wiederbewaldung von beschädigten Waldflächen zu Kernzielen des Wiederaufforstungs- und Anpassungsprogramms erklärt, welches 2019 vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) beschlossen wurde (BMEL 2019). Wie sich dies auf die Bestände von Wirten von Zecken und somit auf die geografische Verteilung von Zecken auswirkt, bleibt abzuwarten.

11.3.3 Borreliose und Klimawandel

Wenn man Europa betrachtet, ist davon auszugehen, dass sich die Inzidenz der Borreliose verändern wird, jedoch werden die Entwicklungen regional unterschiedlich sein (Li et al. 2019). In Teilen Südeuropas wird das komplexe Zusammenwirken der beschriebenen verschiedenen Faktoren dazu führen (Li et al. 2019), dass dort ein Rückgang der Borreliose zu erwarten ist. Wie bereits erwähnt, ist andererseits eine Ausbreitung der Borreliose in höhere Breitengrade in Nordeuropa abzusehen (Alkishe et al. 2017; Li et al. 2019). Eine heterogene, regional differierende Entwicklung ist möglicherweise auch innerhalb von Deutschland zu erwarten.

Um die Entwicklung der Borreliosefälle in Rahmen von Klimaprojektionen abschätzen zu können, kann mit mathematischen oder statistischen Modellen gearbeitet werden. Diese bieten die Möglichkeit, hypothetische Szenarien nachzustellen und zu beobachten, wie sich unterschiedliche Komponenten im System verhalten (Ostfeld u. Brunner 2015). Allerdings sind die Ergebnisse und deren Interpretation nicht immer eindeutig: Stevens et al. beispielsweise untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Szenarien auf die Identifikation von Risikogebieten für Borreliose im Südosten der USA, wobei einige Szenarien das Risiko erhöhten, während es in anderen abnahm (Stevens et al. 2019). Neben einem sich verändernden Klima variierten auch Landnutzungen zwischen unterschiedlichen Szenarien und führten zu heterogenen Bewertungen (Stevens et al.

2019). Spezifische Modellierungen für Deutschland, die neben Klimawandel auch andere Faktoren berücksichtigen, stehen noch aus.

11.4 Prävention

Angesichts der zuvor beschriebenen Komplexität, die in Schätzungen zukünftiger Borreliosefallzahlen hineinwirken, stellen belastbare Vorhersagen eine große Herausforderung dar. Auch wenn gegenwärtig keine klare Aussage zur Entwicklung der Fallzahlen in Deutschland getroffen werden kann, ist davon auszugehen, dass sich diese – ggf. regional unterschiedlich – und in Abhängigkeit von dem Ausmaß des Klimawandels verändern werden. Dies bedeutet, dass sowohl eine Zu-, Abnahme oder Stabilisierung von Fallzahlen denkbar ist.

Grundsätzlich gilt jedoch, dass – wie gegenwärtig auch schon – präventive Interventionen und Handlungsempfehlungen sinnvoll sind, um das Risiko der Borreliose-Infektionen zu senken. In Deutschland empfehlen das Robert Koch-Institut (RKI) und die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzgA) diverse Maßnahmen, um Borreliose vorzubeugen (BzgA 2019, RKI 2019). Dazu gehören insbesondere die Aufklärung über Präventionsmaßnahmen wie Bedeckung von Armen und Beinen sowie die Verwendung von Repellents (RKI 2019). Nach Outdoor-Aktivitäten sollte der Körper auf Zeckenbefall abgesehen werden (RKI 2019). Diese Maßnahmen sollten insbesondere exponierten Personengruppen, die in Freizeit oder Beruf viel in der Natur sind, nahegebracht werden (RKI 2019).

Surveillance ist ein wesentlicher Aspekt der Kontrolle von vektorübertragenen Erkrankungen (Jansen et al. 2008). In Deutschland ist Borreliose lediglich in neun Bundesländern meldepflichtig, wodurch zwar 42% der Bevölkerung abgedeckt wird (Enkelmann et al. 2018), eine landesweite Surveillance allerdings nicht möglich ist. Das könnte angesichts der regional möglicherweise unterschiedlichen Entwick-

lungen im Laufe der nächsten Jahrzehnte ggf. zu Problemen führen (Poggensee et al. 2008).

Impfungen stellen eine wichtige Präventionsmaßnahme im Kontext von Infektionskrankheiten dar. Impfstoffe gegen Borreliose sind für veterinärmedizinische Zwecke verfügbar (StiKo Vet 2019). Für Menschen war in den späten 1990er-Jahren ein Impfstoff gegen Borreliose in den USA vorhanden, der jedoch wieder vom Markt genommen wurde (RKI 2019; Strnad et al. 2020). Derzeit werden zwei humanmedizinische Impfstoffe getestet (Sprong et al. 2018). Gegenwärtig besteht nur die Möglichkeit, schwere Verläufe der Erkrankung mit einer frühen Gabe von Antibiotika zu verringern (AWMF 2016). Eine prophylaktische lokale oder systemische Behandlung mit Antibiotika nach Zeckenstichen wird in Deutschland jedoch nicht empfohlen, sondern erst beim Auftreten von Symptomen wie z.B. *Erythema migrans*, der sogenannten Wanderröte, einer charakteristischen randbetonten Hautläsion um die Einstichstelle (AWMF 2016).

Kontrollmaßnahmen, die der Verbreitung der Erkrankung entgegenwirken, sind vielfältig. In Anbetracht der beschriebenen Komplexität des Systems gibt es keine einzelne wirksame Intervention. Maßnahmen wie die Überwachung von humanen Erkrankungen, Zecken und Wirten, (lokale) Aufklärungskampagnen und die Entwicklung von Impfstoffen wirken zusammen, um dem möglichen Einfluss klimatischer Veränderungen auch in Zukunft zu begegnen.

Acknowledgement

Mareike-Lina Wollenweber und Jin De-Long unterstützen bei der Übersetzung der englischen Fassung des Manuskripts.

Die Helmholtz-Klima-Initiative (HI-CAM) wurde mit Mitteln des Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft (IVF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Literatur

- Alkische AA, Peterson AT, Samy AM (2017) Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus*. *PLoS ONE* 12(12).
- AWMF – Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (2016) Kutane Lyme Borreliose. Leitlinie der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft. URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-044L_S2k_Kutane_Lyme_Borreliose_2016-05.pdf (abgerufen am 05.03.2021).
- Barbour AG; Fish D (1993) The biological and social phenomenon of Lyme disease. *Science* 260(5114), 1610–1616.
- Blazejak K, Raulf MK, Janecek E, Jordan D, Fingerle V, Strube C (2018) Shifts in *Borrelia burgdorferi* (s.l.) geno-species infections in *Ixodes ricinus* over a 10-year surveillance period in the city of Hanover (Germany) and *Borrelia miyamotoi*-specific Reverse Line Blot detection. *Parasit Vectors* 11(304), 1–10.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019) Deutschlands Wald im Klimawandel. Eckpunkte und Maßnahmen. URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldgipfel-2019-diskussionspapier.pdf;jsessionid=7941F8C6ECF95B6D9B241325CB392564.internet2831?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 05.03.2021).
- Boeckmann M, Joyner TA (2014) Old health risks in new places? An ecological niche model for *I. ricinus* tick distribution in Europe under a changing climate. *Health Place* 30, 70–77.
- Boehne D, Gebhardt R, Petney T, Norra S (2017) On the complexity of measuring forests microclimate and interpreting its relevance in habitat ecology: the example of *Ixodes ricinus* ticks. *Parasites & Vectors* 10(1), 1–14.
- Brugger K, Walter M, Chitimia-Dobler L, Dobler G, Rubel F (2018) Forecasting next season's *Ixodes ricinus* nymphal density: the example of southern Germany 2018. *Exp Appl Acarol* 75, 281–288.
- Bzga – Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (2019) Borreliose. Informationen über Krankheitserreger beim Menschen. URL: <https://www.infektionsschutz.de/erregerscheckbriefe/borreliose/> (abgerufen am 05.03.2021).
- Daniel M, Danielová V, Kriz B, Jirsa A, Nozicka J (2003) Shift of the tick *Ixodes ricinus* and tick-borne encephalitis to higher altitudes in central Europe. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 22(5), 327–328.
- Danielová V, Daniel M, Schwarzová L, Materna J, Rudenko N, Golovchenko M, Holubova J, Grubhoffer L, Kilián P (2010) Integration of a tick-borne encephalitis virus and *Borrelia burgdorferi* sensu lato into mountain ecosystems, following a shift in the altitudinal limit of distribution of their vector, *Ixodes ricinus* (Krkonose mountains, Czech Republic). *Vector-Borne And Zoonotic Diseases* 10 (3), 223–230.
- Dautel H, Dippel C, Kämmer D, Werkhausen A, Kahl O (2008) Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest. *International Journal of Medical Microbiology* 298, 50–54.
- Dehnert M, Fingerle V, Klier C, Talaska T, Schlaud M, Krause G, Wilking H, Poggensee G (2012) Seropositivity of Lyme borreliosis and associated risk factors: a population-based study in Children and Adolescents in Germany (KiGGs). *PLoS ONE* 7(8).
- Enkelmann J, Böhmer M, Fingerle V, Siffczyk C, Werber D, Littmann M, Merbecks SS, Helmeke C, Schroeder S, Hell S, Schlotthauer U, Burckhardt F, Stark K, Schielke A, Wilking H (2018) Incidence of notified Lyme borreliosis in Germany, 2013–2017. *Sci Rep* 8(14976).
- Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N (2020) A Retrospective Assessment of Temperature Trends in Northern Europe Reveals a Deep Impact on the Life Cycle of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Pathogens* 9(345).
- Fernández-Ruiz N, Estrada-Peña A (2020) Could climate trends disrupt the contact rates between *Ixodes ricinus* (Acari, Ixodidae) and the reservoirs of *Borrelia burgdorferi* s.l.? *PLoS One* 15(5).
- Gilbert L, Aungier J, Tomkins JL (2014) Climate of origin affects tick (*Ixodes ricinus*) host-seeking behavior in response to temperature: Implications for resilience to climate change? *Ecol Evol* 4(7), 1186–1198.
- Gray JS (1998) Review The ecology of ticks transmitting Lyme borreliosis. *Exp Appl Acarol* 22, 249–258.
- Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O, Lindgren E (2009) Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisc perspect infect dis* 2009(593232).
- Gray JS, Kahl O, Lane RS, Levin ML, Tsao JI (2016) Diapause in ticks of the medically important *Ixodes ricinus* species complex. *Ticks Tick Borne Dis* 7(5), 992–1003.
- Hauck D, Springer A, Chitimia-Dobler L, Strube C (2020) Two-year monitoring of tick abundance and influencing factors in an urban area (city of Hanover, Germany). *Ticks and Tick-borne Diseases* 11(5).
- Hertig E (2020) Health-relevant ground-level ozone and temperature events under future climate change using the example of Bavaria, Southern Germany. *Air Qual Atmos Health* 13(4), 435–446.
- Hunfeldt KP, Brade V (2012) Borrelien. In: Suerbaum S, Hahn H, Burchard GD, Kaufmann SHE, Schulz TF (Hrsg.) *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*. 7. überarbeitete Auflage. Springer Berlin, 372–378.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, Van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana JF, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, You P (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14 (2), 563–578.
- 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* 103.
- Jaenson TGT, Jaenson DGE, Eisen L, Petersson E, Lindgren E (2012) Changes in the geographical distribution and abundance of

- the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. *Parasit Vectors* 5(8).
- Johnson RC, Schmid GP, Hyde FW, Steigerwalt AG, Brenner DJ (1984) *Borrelia burgdorferi* sp. nov.: Etiologic Agent of Lyme Disease. *Int J Syst Bact* 34 (4), 496–497.
- Jore S, Viljugrein H, Hofshagen M, Brun-Hansen H, Kristoffersen AB, Nygård K, Brun E, Ottesen P, Sævik BK, Ytrehus B (2011) Multi-source analysis reveals latitudinal and altitudinal shifts in range of *Ixodes ricinus* at its northern distribution limit. *Parasit Vectors* 4(1).
- Kahl O, Knülle W (1988) Water vapour uptake from subsaturated atmospheres by engorged immature ixodid ticks. *Exp Appl Acarol* 4(1), 73–83.
- Kilpatrick AM, Dobson ADM, Levi T, Salkeld DJ, Swei A, Ginsberg HS, Kjemtrup A, Padgett KA, Jensen PM, Fish D, Ogden NH, Diuk-Wasser MA (2017) Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 372.
- Li S, Gilbert L, Vanwambeke SO, Yu J, Purse BV, Harrison PA (2019) Lyme Disease Risks in Europe under Multiple Uncertain Drivers of Change. *Environ Health Perspect* 127(6).
- Liang L, Gong P (2017) Climate change and human infectious diseases: A synthesis of research findings from global and spatio-temporal perspectives. *Environ Int* 103, 99–108.
- Lindgren E, Tälleklint L, Polfeldt T (2000) Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. *Environ Health Perspect* 108(2), 119–123.
- Lindström A, Jaenson TGT (2003) Distribution of the common tick, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae), in different vegetation types in southern Sweden. *Journal of Medical Entomology* 40(4), 375–378.
- Lucius R, Loos-Frank B (2008) *Biologie von Parasiten*. 2. Aufl. Springer (Springer-Lehrbuch) Berlin, Heidelberg.
- Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, Derdakova M, Estrada-Peña A, George JC, Golovljova I, Jaenson TGT, Jensen JK, Jensen M, Kazimirova M, Oteo JA, Papa A, Pfister K, Plantard O, Randolph SE, Rizzoli A, Santos-Silva MM, Sprong H, Vial L, Hendrickx G, Zeller H, van Bortel W (2013) Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. *Parasit Vectors* 6(1).
- Mejlon HA, Jaenson TGT (1997) Questing behaviour of *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae). *Exp Appl Acarol* 21(12), 747–754.
- Müller I, Freitag MH, Poggensee G, Scharnatzky E, Straube E, Schoerner C, Hlobil H, Hagedorn H-J, Stanek G, Schubert-Unkmeier A, Norris DE, Gensichen J, Hunfeld K-P (2012) Evaluating frequency, diagnostic quality, and cost of Lyme borreliosis testing in Germany: a retrospective model analysis. *Clin Dev Immunol* 12.
- Ostfeld RS, Brunner JL (2015) Climate change and *Ixodes* tick-borne diseases of humans. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 370(1665).
- Perret JL, Guigoz E, Rais O, Gern L (2000) Influence of saturation deficit and temperature on *Ixodes ricinus* tick questing activity in a Lyme borreliosis-endemic area (Switzerland). *Parasitology Research* 86(7), 554–557.
- Poggensee G, Fingerle V, Hunfeld K-P, Kraiczky P, Krause A, Matuschka F-R, Richter D, Simon MM, Wallich R, Hofman H, Kohn B, Lierz M, Linde A, Schneider T, Straubinger R, Stark K, Süß J, Talaska T, Jansen A (2008) Lyme-Borreliose: Forschungsbedarf und Forschungsansätze. Ergebnisse eines interdisziplinären Expertentreffens am Robert Koch-Institut. *Bundesgesundheitsbl* 51(11), 1329–1339.
- Randolph SE (2004) Tick ecology: Processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. *Parasitology* (129), 37–65.
- Rauter C, Hartung T (2005) Prevalence of *Borrelia burgdorferi sensu lato* genospecies in *Ixodes ricinus* ticks in Europe: a metaanalysis. *Appl Environ Microbiol* 71(11), 7203–7216.
- RKI – Robert Koch-Institut (2004) *Erkrankungen an Lyme-Borreliose in den sechs östlichen Bundesländern in den Jahren 2002 und 2003*. *Epid Bull* (28), 219–226.
- RKI – Robert Koch-Institut (2019) *RKI-Ratgeber: Lyme-Borreliose*. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_LymeBorreliose.html;jsessionid=9873959E2F9E153D00A1B83E5276EB18.internet101 (abgerufen am 05.03.2021).
- Rubel F, Brugger K, Monazahian M, Habedank B, Dautel H, Leverenz S, Kahl O (2014) The first German map of georeferenced ixodid tick locations. *Parasit Vectors* 7(477).
- Schwarz A, Maier WA, Kistemann T, Kampen H (2009) Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. *Int J Hyg Environ Health* 212(2009), 87–96.
- Semenza JC, Menne B (2009) Climate change and infectious diseases in Europe. *The Lancet Infectious Diseases* 9 (6), 365–375.
- Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, Pedersen BN, Okbaldet YB, Skjetne IEB, Gurung D, Vikse R, Andreassen ÅK (2018) Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. *Ticks Tick Borne Dis* 9(1), 97–103.
- Sprong H, Azagi T, Hoornstra D, Nijhof AM, Knorr S, Baarsma ME, Hovius JW (2018) Control of Lyme borreliosis and other *Ixodes ricinus*-borne diseases. *Parasit Vectors* 11(145).
- Stevens LK, Kolivras KN, Hong Y, Thomas VA, Campbell JB, Prisley SP (2019) Future Lyme disease risk in the south-eastern United States based on projected land cover. *Geospat Health* 14(751), 153–162.
- StiKo Vet – Ständige Impfkommission Veterinärmedizin (2019) *Leitlinie zur Impfung von Kleintieren*, 4. Auflage. URL: https://www.opennagar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/opennagar_derivate_00020078/Impfleitlinie-Kleintiere_2019-02-01.pdf (abgerufen am 05.03.2021).
- Strnad M, Grubhoffer L, Rego ROM (2020) Novel targets and strategies to combat borreliosis. *Appl Microbiol Biotechnol* 104(5), 1915–1925.
- Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, Buzinov RV, Boltentkov VP, Yurasova ED, Nurse J (2011) The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Glob Health Action* 4(8448).

- Van Oort BEH, Hovelsrud GK, Risvoll C, Mohr CW, Jore S (2020) A Mini-Review of Ixodes Ticks Climate Sensitive Infection Dispersion Risk in the Nordic Region. *Int J Environ Res Public Health* 17(15).
- Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, Chaytor S, Colbourn T, Collins M, Cooper A, Cox PM, Delpierre J, Drummond P, Ekins P, Galaz V, Grace D, Graham H, Grubb M, Haines A, Hamilton I, Hunter A, Jiang X, Li M, Kelman I, Liang L, Lott M, Lowe R, Luo Y, Mace G, Maslin M, Nilsson M, Oreszczyn T, Pye S, Quinn T, Svendsdotter M, Venevsky S, Warner K, Xu B, Yang J, Yin Y, Yu C, Zhang Q, Gong P, Montgomery H, Costello A (2015) Health and climate change: Policy responses to protect public health. *Lancet* 386(10006), 1861–1914.
- Wilking H, Stark K (2014) Trends in surveillance data of human Lyme borreliosis from six federal states in eastern Germany, 2009–2012. *Ticks Tick Borne Dis* 5(3), 219–224.
- Wilking H, Fingerle V, Klier C, Thamm M, Stark K (2015) Antibodies against *Borrelia burgdorferi* sensu lato among Adults, Germany, 2008–2011. *Emerg Infect Dis* 21(1), 107–110.

Martín Lotto-Batista, M.Sc.

2016 Abschluss in Biologie an der Universidad Nacional de Córdoba, Argentinien und 2018 M.Sc. in Epidemiologie an der London School of Hygiene and Tropical Medicine. Seit 2019 Promotion am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) in Braunschweig. Ein Schwerpunkt seiner Arbeit ist die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Klima und Infektionskrankheiten.

Christiane Behrens, M.Sc.

2016–2020 Studium der Physiotherapie an der HAWK Hildesheim und Public Health an der Medizinischen Hochschule Hannover. Seit 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsbereich Epidemiologie des HZI in Braunschweig.

Dr. med. Stefanie Castell, M.Sc.

Medizinstudium (1993–2000) und Promotion in Tübingen bzw. Berlin. Fachärztin für Physikalische und Rehabilitative Medizin seit 2009. Master in Epidemiologie 2011 (Berlin). Tätigkeit für das Deutsche Zentralkomitee zur Bekämpfung der Tuberkulose (DZK) bis 2012, seither wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Abteilung für Epidemiologie des HZI in Braunschweig.

12 Klimawandel und Gesundheit: Welche Rolle spielt der Klimawandel im Gesundheitsbewusstsein der Befragten? Ergebnisse einer deutschlandweiten Bevölkerungsbefragung

Caroline Schmuker, Bernt-Peter Robra, Kai Kolpatzik, Klaus Zok und Jürgen Klauber

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-12, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Der vorliegende Beitrag berichtet über die Ergebnisse einer bundesweiten Onlinebefragung (n = 3.006) des Wissenschaftlichen Institutes der AOK (WIdO) zu zentralen Fragestellungen des Klima- und Gesundheitsbewusstseins in der Bevölkerung. Im Fokus der Befragung standen Umweltbelastungen, die im Zuge des Klimawandels an Bedeutung gewinnen werden: Hitze, UV-Strahlung, Luftschadstoffe und Pollenallergene. Teilnehmende wurden nach ihrem Informationsstand, nach gesundheitlichen Beeinträchtigungen, zu ihrem Schutzverhalten und zur Nutzung von Warn- und Informationsdiensten befragt. Die Ergebnisse zeigen, dass weiterhin deutlicher Informationsbedarf zu den gesundheitlichen Risiken des Klimawandels in der Gesellschaft besteht. Das Schutzverhalten in der Bevölkerung ist verbesserungsfähig, gerade auch mit Blick auf ältere oder gesundheitlich belastete Personen, die besonders gefährdet sind. Es besteht eine erhebliche kommunikative Herausforderung auf dem Weg, das individuelle präventive Verhalten zu stärken, insbesondere bei weniger sichtbaren Umweltbelastungen wie erhöhten UV-Strahlungen oder Luftschadstoffen, die von vielen Befragten auch nicht als beeinträchtigend erlebt werden. Die Bekanntheit und Nutzung von vorhandenen Informations- und Frühwarnsystemen ist noch sehr gering ausgeprägt.

This publication reports the results of a nationwide online survey (n = 3.006) conducted by the Scientific Institute of the General Health Insurance funds (WIdO) addressing the awareness of health aspects of climate change. The survey focuses on climate related health risks that are expected to gain significance in the progress of climate change: heat, UV-radiation, airborne pollutants and pollen allergens. Participants were asked about their level of information on health risks, any health impairment experienced, their adaption measures, and the use of warning and information systems. The results clearly show further need of information about climate related health risks. Adaption behaviour should be improved, especially with regard to vulnerable persons, e.g. those with impaired health or of older age. Communicating climate related health risks and adaption behaviour to the public is especially challenging since risks such as UV or some airborne pollutants do not always cause immediate subjective impairments to humans. The awareness and use of existing information and warning systems is still very low.

12.1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse einer bundesweiten Bevölkerungsbefragung zum Thema Klimawandel und Gesundheit dar, die das Wissenschaftliche Institut der AOK (WiDO) im September des Jahres 2020 online durchgeführt hat. Verschiedene internationale und nationale Forschungsinstitutionen haben in den letzten Jahrzehnten die Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensbedingungen und auf die Gesundheit der Menschen erforscht. Seitdem ist die Verbindung zwischen Klimawandel und Gesundheit auch in Deutschland zunehmend Gegenstand von Forschung, Medienberichterstattung und gesundheitspolitischem Handeln.

Ziel der vorliegenden Befragung war eine Bestandsaufnahme zu zentralen Fragestellungen des Gesundheits- und Klimabewusstseins in der Bevölkerung:

- **Informationsstand und Risikoeinschätzung:** Wie gut sind die Befragten über mit dem Klimawandel verbundene veränderte Umweltbedingungen und deren mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit informiert? Wie besorgt sind die Befragten dabei über ihre eigene Gesundheit?
- **subjektive Beeinträchtigungen durch Umwelteinflüsse:** In welchem Ausmaß erleben die Befragten klimaassoziierte Umwelteinflüsse (Hitze, UV-Strahlung, Luftschadstoffe und Allergene [Pollen]) als belastend? Welche Bevölkerungsgruppen mit erhöhter Belastung können identifiziert werden?
- **Klimaanpassungsverhalten:** Wie verbreitet sind Verhaltensweisen zum Schutz vor bzw. zur Anpassung an erhöhte Belastungen im Kontext von Klimaänderungen?
- **Stellenwert der Warn- und Informationsdienste:** In welchem Umfang erreichen Informationen und Vorhersagen zu Umweltbelastungen die Gesamtbevölkerung?

Im Fokus der Befragung stehen vier klimaassoziierte Umwelteinflüsse, die von hoher gesund-

heitlicher Relevanz sind und nach aktuellen Erkenntnissen im Zuge des Klimawandels an Bedeutung gewinnen werden. Das sind: eine Zunahme an Hitzewellen sowie eine erhöhte Exposition gegenüber Luftschadstoffen (z.B. Feinstaub, Ozon), UV-Strahlung und Pollenallergenen (ausführlicher hierzu s. Kap. 3, 8, 9 sowie 10).

12.2 Methoden

12.2.1 Datenerhebung und Stichprobe

Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf einer repräsentativen Online-Befragung der deutschsprachigen Wohnbevölkerung im Alter von 18 bis 86 Jahren mit Internet-Zugang. Es handelt sich um eine regional repräsentative Quotenstichprobe von insgesamt 3.006 Personen. Die Fallzahlen je Bundesland wurden auf Basis der Einwohnerzahlen nach Mikrozensus berechnet. Innerhalb jedes Bundeslandes greift dann eine vorgegebene Quotierung nach Alter und Geschlecht, sodass die Stichprobe in jedem Bundesland als alters- und geschlechtsrepräsentativ anzusehen ist.

Die Befragung wurde durch die ResponDi AG (Köln) im Zeitraum vom 01. bis zum 17. September 2020 durchgeführt. ResponDi verfügt über ein eigenes Online-Access-Panel mit über 100.000 aktiven Teilnehmenden deutschlandweit, das primär für Marktforschung genutzt wird. Das Panel wird von einem professionellen Panelteam verwaltet und über Scoring- und Kontrollverfahren einem permanenten Qualitätscontrolling unterzogen. Teilnehmende werden per Zufallsverfahren für Befragungen ausgewählt, eine Selbstselektion ist nicht möglich. Der Anteil der realisierten Teilnahmen (3.006) an allen eingeladenen Personen (12.967) lag bei 23,2%. 214 (1,7%) der Eingeladenen haben den Fragebogen abgebrochen, 1.699 (13,1%) Teilnahmen wurden beendet, weil die Quotenkriterien bereits erfüllt waren und 8 eingeladene Personen (0,1%) erfüllten die Selektionskrite-

rien zur Teilnahme nicht. In die Auswertung gehen nur vollständig abgeschlossene Fragebögen ein. Unvollständige Fragebögen werden als abgebrochen gewertet.

12.2.2 Entwicklung des Fragebogens

Das Konzept der Befragung wurde im Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDO) mit Unterstützung der Autoren entwickelt. Hierfür wurden validierte Fragen aus themenverwandten Umfragen zusammengestellt, sowie eigene Fragen entlang der Leitfragen ergänzt. Inhaltlich ist der Fragebogen wie folgt aufgebaut:

Teil 1: Der erste Teil des Fragebogens enthält allgemeine Fragen zum Gesundheitszustand und zu Risikofaktoren, die im Zusammenhang mit Umwelteinflüssen bekannt sind. Neben Alter, Geschlecht und ausgewählten chronischen Erkrankungen wird auch der subjektive (selbst eingeschätzte) Gesundheitszustand erfasst. Hierfür wurden die Frageformulierungen aus der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell“ (GEDA 2014/2015-EHIS, Robert Koch-Institut 2014) verwendet.

Teil 2: Der zweite Teil des Fragebogens besteht aus vier Fragemodulen zu klimaassoziierten Umweltfaktoren: Hitze, UV-Strahlung, Pollen und Luftschadstoffe. Die Module enthalten jeweils Fragen zu wahrgenommenen Beeinträchtigungen, zu körperlichen Beschwerden, zum Schutz- und Anpassungsverhalten sowie zur Nutzung von Warn- und Informationsdiensten. Ein Teil der Fragen (insbesondere zu Hitzebelastung und Schutzverhalten) orientiert sich an der Befragung „Klimawandel in Leipzig“ (Stadt Leipzig 2018), einer städtischen Bürgerbefragung zu gesundheitlichen und stadträumlichen Aspekten des Klimawandels. Die Fragen zu Warn- und Informationssystemen orientieren sich an einer Befragung des Umweltbundesamtes (UBA) im Rahmen der „Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit“ (Capellaro u. Sturm 2015).

Teil 3: Im dritten Teil des Fragebogens werden übergreifende Aspekte zum Thema Klimawandel und Gesundheit erhoben, darunter der allgemeine Informationsstand, Sorgen und Ängste, sowie Einstellungen zum Klimaschutz und zum klimafreundlichen Verhalten.

Teil 4: Der Fragebogen schließt mit der Erhebung der soziodemografischen Merkmale.

Um die Fragebogenführung zu vereinfachen, wurden abschließend nach eigenem Ermessen Frageformulierungen angepasst und Antwortkategorien vereinheitlicht. Zur Qualitätssicherung wurde der Gesamtfragebogen mehrfach in Hinblick auf Verständlichkeit, Filterführung, Länge und Schlüssigkeit getestet und den Rückmeldungen entsprechend angepasst. Zudem wurden die ersten 100 teilnehmenden Personen nach Start der Feldphase gebeten, sich am Ende des Fragebogens zur Handhabung des Fragebogens zu äußern. Das Feedback der Teilnehmer war durchgängig positiv, sodass keine weiteren Anpassungen notwendig waren.

12.2.3 Statistische Auswertungen

Die Antworten wurden größtenteils in Form verbalisierter Likert-Skalen erfasst. Für die bessere Lesbarkeit werden Anteilswerte im Folgenden gerundet ausgewiesen. Die statistische Signifikanz von Gruppenunterschieden wurde mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson überprüft. Es wird von einem statistisch signifikanten Unterschied zwischen Gruppen ausgegangen, wenn der entsprechende p-Wert kleiner als 0,05 ist.

12.2.4 Repräsentativität der Stichprobe

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der Stichprobe ($n = 3.006$) nach soziodemografischen und gesundheitsbezogenen Merkmalen. Die Stichprobe ist aufgrund der festgelegten Quoten alters- und geschlechtsrepräsentativ für die

Tab. 1 Beschreibung der Stichprobe anhand soziodemografischer und gesundheitsbezogener Merkmale

	Häufigkeit (N)	Prozente (%)
Gesamtzahl der Befragten	3.006	100,0%
Alter in Jahren		
18 bis 39	982	32,7%
40 bis 59	1.078	35,9%
60 und älter	946	31,5%
Geschlecht		
Frauen	1.513	50,3%
Männer	1.493	49,7%
Bildungsstand*		
niedrig	309	10,3%
mittel	1.649	54,9%
hoch	1.048	34,9%
Region		
städtisch	1.513	50,3%
mit Verstärkeransätzen	497	16,5%
ländlich	996	33,1%
chronische Erkrankungen		
ja	1.519	50,5%
nein	1.487	49,5%
subjektiver Gesundheitszustand		
sehr gut/gut	1.954	65,0%
mittelmäßig	802	26,7%
schlecht/sehr schlecht	250	8,3%
ärztlich diagnostizierte Erkrankungen		
Atemwegserkrankungen	537	17,9%
■ davon Asthma	349	11,6%
■ davon chronische Lungenerkrankungen	295	9,8%
Pollenallergie	679	22,6%
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	330	11,0%
Hauterkrankungen	361	12,0%
■ davon Neurodermitis	245	8,2%
■ davon Hautkrebs	145	4,8%
Staatsangehörigkeit		
deutsch	2.924	97,3%
andere	82	2,7%

*operationalisiert über die Variablen Schulbildung und berufliche Ausbildung

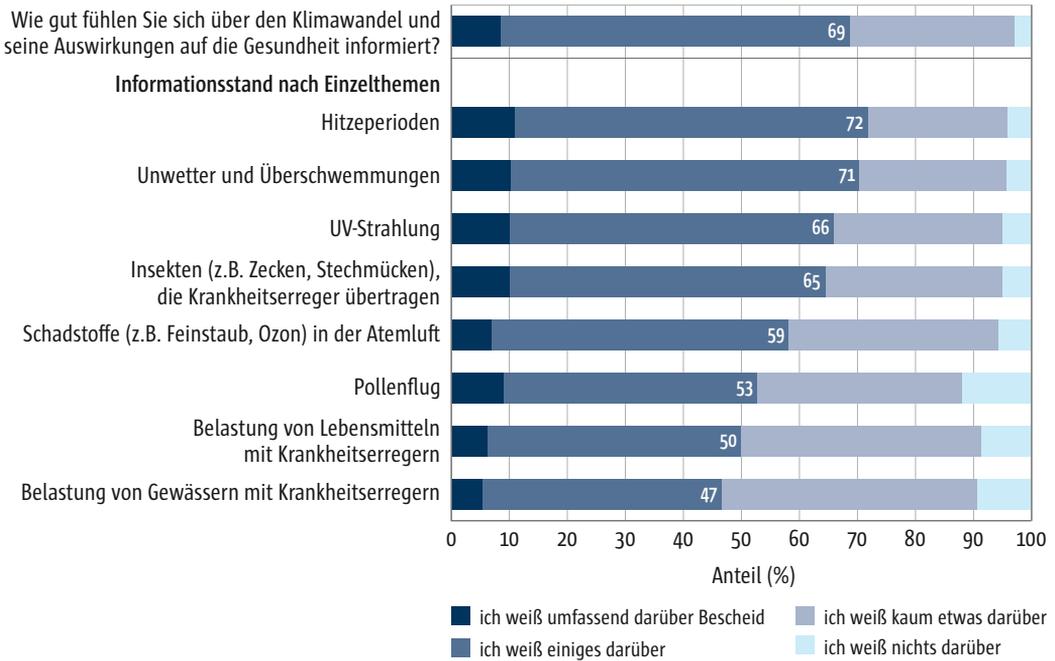


Abb. 1 Klimawandel und Gesundheit: Informationsstand in der Bevölkerung

deutsche Wohnbevölkerung. Im Vergleich zur amtlichen Statistik des Statistischen Bundesamtes weist unsere Stichprobe jedoch einen etwas höheren Anteil an Personen mit hohem Bildungsstand (35%) auf als die Wohnbevölkerung (29%) (vgl. Statistische Ämter der Länder und des Bundes 2019). Zudem hat die Stichprobe einen erhöhten Anteil an Personen mit gesundheitlichen Vorbelastungen. Die Hälfte der Befragten (50%) gibt an, von mindestens einer chronischen Erkrankung betroffen zu sein. In der vom Robert Koch-Institut im Jahr 2012 durchgeführten GEDA-Studie lag dieser Anteil mit 41% niedriger (Robert Koch-Institut 2014). Ebenso liegt der Anteil der Personen, die ihren Gesundheitszustand als *sehr gut* oder *gut* bewerten, in der vorliegenden Stichprobe (65%) unter dem Vergleichswert der GEDA-Erhebung (70%). Der Anteil an Personen mit deutscher Staatsangehörigkeit liegt bei 97%.

12.3 Befragungsergebnisse

12.3.1 Information und Risikoeinschätzung

Um Informationsstand und Bedarf an Informationen in der Bevölkerung zu ermitteln, wurden die Teilnehmenden gefragt, wie gut sie sich insgesamt über den Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Gesundheit informiert fühlen und wie sie ihren Informationsstand bei den verschiedenen Gesundheitsfolgen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel diskutiert werden, einschätzen (s. Abb. 1).

Knapp 70% der Befragten geben an, dass sie *umfassend Bescheid* oder zumindest *einiges* über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit wissen. Der subjektive Informationsstand hängt am deutlichsten mit dem Bildungsstand des Befragten zusammen. Je höher die Bildungsgruppe, desto höher wird der Informationsstand von den Befragten eingeschätzt ($p < 0,001$) (ohne Abbildung).

Tab. 2 Folgen des Klimawandels: Besorgnis in Bezug auf die eigene Gesundheit (Anteil der Antwortkategorie *sehr/ziemlich* in Prozent)

	gesamt	subjektiver Informationsstand ^{1,2}	
	Anteil besorgt	<i>eher schlecht</i> Anteil besorgt	<i>eher gut</i> Anteil besorgt
Hitzeperioden	51,7	40,3	56,2
Insekten (z.B. Zecken, Stechmücken), die Krankheitserreger übertragen	44,6	36,3	49,1
Unwetter und Überschwemmungen	42,9	32,7	47,2
Belastung von Gewässern mit Krankheitserregern	38,8	34,4	43,8
Schadstoffe (z.B. Feinstaub, Ozon) in der Atemluft	37,1	32,0	40,6
Belastung von Lebensmitteln mit Krankheitserregern	36,4	31,0	41,7
UV-Strahlung	34,0	25,5	38,3
Pollenflug	15,9	7,2	23,7

Frage: Inwieweit bereiten Ihnen die folgenden Themen Sorgen in Bezug auf Ihre eigene Gesundheit? dargestellt Antwortkategorie *sehr/ziemlich* (in %)

¹ selbst eingeschätzter Informationsstand: *eher gut* = ich weiß umfassend Bescheid/einiges darüber; *eher schlecht* = ich weiß kaum etwas/nichts darüber

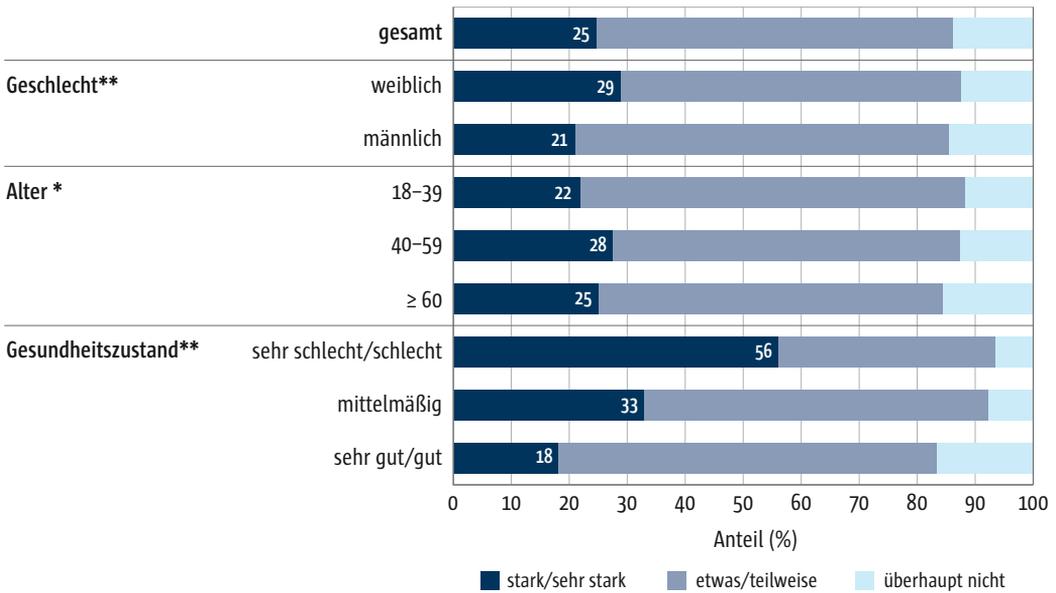
² jeweils signifikante Gruppenunterschiede mit $p < 0,001$

Bei differenzierter Betrachtung der konkreten Gesundheitsthemen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel diskutiert werden, wird der Informationsbedarf deutlicher. Zwar fühlen sich knapp 70% der Befragten gut über die (eher sichtbaren) Folgen des Klimawandels in Form von Hitzeperioden oder Unwetter und Überschwemmungen informiert. Über die möglichen gesundheitlichen Folgen einer hohen Schadstoffbelastung in der Atemluft hingegen sind nach eigener Einschätzung mehr als 40% der Befragten überhaupt nicht oder nur kaum informiert. Bei den gesundheitlichen Belastungen durch UV-Strahlung und durch von Insekten übertragbare Krankheitserreger sind es mehr als ein Drittel. Nur die Hälfte der Befragten fühlt sich gut über die gesundheitlichen Risiken des Pollenflugs (53%) sowie durch Krankheitserreger in Lebensmitteln (50%) und Gewässern (47%) informiert.

Mit dem Klimawandel assoziierte Gesundheitsrisiken

Um abschätzen zu können, inwieweit die hier aufgeführten Themen nicht nur zur Kenntnis genommen, sondern auch als persönliches potenzielles Gesundheitsrisiko eingeschätzt werden, wurden die Teilnehmenden gefragt, inwieweit ihnen die einzelnen Themen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel diskutiert werden, mit Blick auf die eigene Gesundheit Sorgen bereiten (s. Tab. 2).

Mehr als die Hälfte der Befragten (52%) macht sich mit Blick auf die eigene Gesundheit *ziemlich* oder *sehr* Sorgen über die Zunahme an Hitzeperioden. Stärkere Besorgnis wird auch für krankheitsübertragende Insekten sowie Unwetter und Überschwemmungen geäußert, die von jeweils mehr als 40% der Befragten als *sehr/ziemlich* besorgniserregend eingestuft werden. Schadstoffe in der Atemluft (37%) und die gesundheitlichen Folgen einer erhöhten



Signifikanz des Gruppenunterschiedes basierend auf Chi-Quadrat-Test nach Pearson: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$

Abb. 2 Subjektive Beeinträchtigung durch Hitze nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand

UV-Strahlung (34%) werden im Vergleich zu Hitzeperioden im Kontext des Klimawandels von weniger Befragten als besorgniserregend eingestuft. Ein Anteil von 16% der Befragten äußert größere Besorgnis mit Blick auf Veränderungen der Pollenbelastung. In der gesamten Themenbreite sind Personen, die sich *eher gut* informiert fühlen, überdurchschnittlich häufig besorgt um die Folgen für ihre Gesundheit (signifikante Unterschiede). Dieser in einer querschnittlichen Erhebung gefundene Zusammenhang widersetzt sich allerdings einer kausalen Interpretation.

12.3.2 Gesundheitliche Belastung und Anpassung an sich verändernde Umwelteinflüsse

Ein weiterer Aspekt des Gesundheits- und Klimabewusstseins sind die erlebten und wahrgenommenen Beeinträchtigungen durch klimaassoziierte Ereignisse sowie die Verbreitung

und Akzeptanz von geeigneten Anpassungsstrategien im Alltag. Im Folgenden werden erlebte gesundheitliche Belastungen¹ und das individuelle Klimaanpassungsverhalten am Beispiel von Hitze, erhöhter UV-Strahlung, Schadstoffen in der Atemluft und Pollenbelastung untersucht.

Gesundheit bei sommerlicher Hitze

Zur Einschätzung der erlebten Hitzebelastung wurden die Teilnehmenden gefragt, wie sehr sie sich insgesamt durch anhaltende sommerliche Hitze beeinträchtigt fühlen (Skala von *überhaupt nicht* [1] bis *sehr stark* [5]) (s. Abb. 2).

1 Nach dem gängigen Belastungs-Beanspruchungskonzept von Rohmert und Rutenfranz (1975) wirken Belastungen von außen auf den Menschen ein, Beanspruchungen dagegen sind deren Auswirkungen im Individuum (einschl. unternommene Bewältigungsmaßnahmen). Demnach wären die hier genannten „subjektiven Belastungen“ als Beanspruchungen zu verstehen.

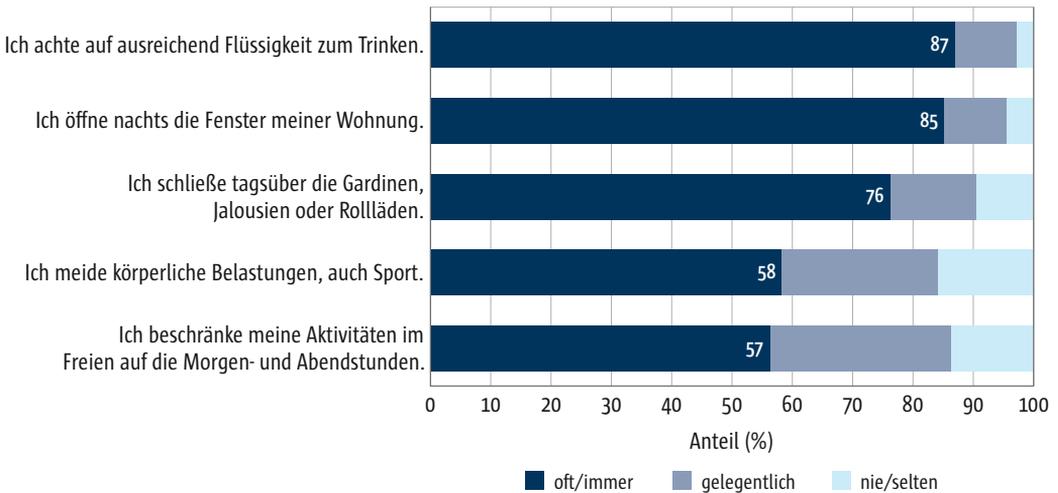


Abb. 3 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor Hitze (n = 3.006)

Ein Viertel (25%) der Befragten fühlt sich durch anhaltende Hitze *stark* bzw. *sehr stark* beeinträchtigt, 87% der Befragten fühlen sich zumindest etwas beeinträchtigt. Die Stärke der wahrgenommenen Beeinträchtigung hängt signifikant mit dem Gesundheitszustand der Befragten zusammen. Mehr als die Hälfte der Befragten (56%), die ihren Gesundheitszustand als *schlecht/sehr schlecht* bewerten, leidet unter starken Beeinträchtigungen bei Hitze, bei Personen mit gutem Gesundheitszustand sind dies dagegen weniger als ein Fünftel (18%). Auch mit Blick auf die Altersgruppen und das Geschlecht zeigen sich signifikante Unterschiede, die aber geringer ausgeprägt sind. Personen mit chronischen Erkrankungen, wie z.B. Atemwegserkrankungen (39%) oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen (35%) sind ebenfalls überdurchschnittlich häufig durch Hitze (*stark/sehr stark*) beeinträchtigt (krankheitsspezifische Unterschiede in der Abbildung nicht dargestellt).

Es gibt verschiedene Maßnahmen, wie Menschen ihren Tagesablauf und ihr Verhalten an Hitze anpassen können. Die aufgeführten Maßnahmen orientieren sich an den Empfehlungen des Umweltbundesamtes zum Verhalten bei sommerlicher Hitze und Hitzewellen

(UBA 2019). Das Anpassungsverhalten hinsichtlich dieser Maßnahmen wurde mit der Frage „Wie reagieren Sie im Alltag bei sommerlicher Hitze?“ erhoben (Skala: *nie* [1], *selten* [2], *gelegentlich* [3], *oft* [4], und *immer* [5]) (s. Abb. 3).

Weit verbreitete Maßnahmen, die laut Selbstangabe *oft* oder *immer* durchgeführt werden, sind ausreichend Flüssigkeit zum Trinken (87%), nachts die Fenster zu öffnen (85%) und tagsüber die Wohnung abzudunkeln (76%). Weniger Befragte vermeiden körperliche Belastungen (58%) oder passen ihren Tagesablauf an, indem sie Aktivitäten auf die Morgen- und Abendstunden verlegen (57%).

In der Betrachtung von Bevölkerungsgruppen (s. Tab. 3) werden die Verhaltensempfehlungen bei Hitze überwiegend in der ganzen Bevölkerung aufgegriffen, sowohl von gesundheitlich belasteten Personen (*eher schlechter* Gesundheitszustand) als auch von gesunden Personen (*eher guter* Gesundheitszustand). Ältere Menschen scheinen im Vergleich zu jüngeren häufiger ihren Tagesablauf anzupassen und Aktivitäten bei Hitze einzuschränken. Beachtenswert sind die Unterschiede im Anpassungsverhalten hinsichtlich der Informiertheit und (wesentlich deutlicher) hinsichtlich der persönli-

Tab. 3 Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor Hitze (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung

	Alter in Jahren		Gesundheitszustand ²		Informiertheit über Hitze		Risikoeinschätzung für die eigene Gesundheit ¹		
	gesamt	unter 64	65 und älter	<i>eher gut</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher gut</i>	<i>eher gering</i>	<i>eher hoch</i>
Zahl der Befragten (n)	3.006	2.291	715	1.954	1.052	837	2.169	1.451	1.555
Ich achte auf ausreichend Flüssigkeit zum Trinken.	86,7	85,2	91,3	87,2	85,7	80,2	89,2	82,6	90,5
Ich öffne nachts die Fenster meiner Wohnung.	85,1	83,3	90,8	85,1	85,2	79,0	87,5	80,7	89,2
Ich schließe tagsüber die Gardinen, Jalousien oder Rollläden.	76,3	75,8	77,9	75,7	77,4	72,6	77,7	68,4	83,7
Ich meide körperliche Belastungen, auch Sport.	58,2	55,0	68,3	50,6	72,3	54,5	59,6	47,0	68,6
Ich beschränke meine Aktivitäten im Freien auf die Morgen- und Abendstunden.	56,5	53,5	66,3	51,8	65,2	48,3	59,7	43,1	69,0

¹abgeleitet aus der Frage: Inwieweit bereiten Ihnen die folgenden Themen Sorgen in Bezug auf Ihre eigene Gesundheit?

eher hoch = Antwortkategorie sehr/ziemlich, *eher niedrig* = Antwortkategorie überhaupt nicht bis mäßig

²Gesundheitszustand *eher gut* = sehr gut/gut, *eher schlecht* = Antwortkategorien sehr schlecht/schlecht/mittel

■: Unterschied > 10 Prozentpunkte, ■: Unterschied > 20 Prozentpunkte

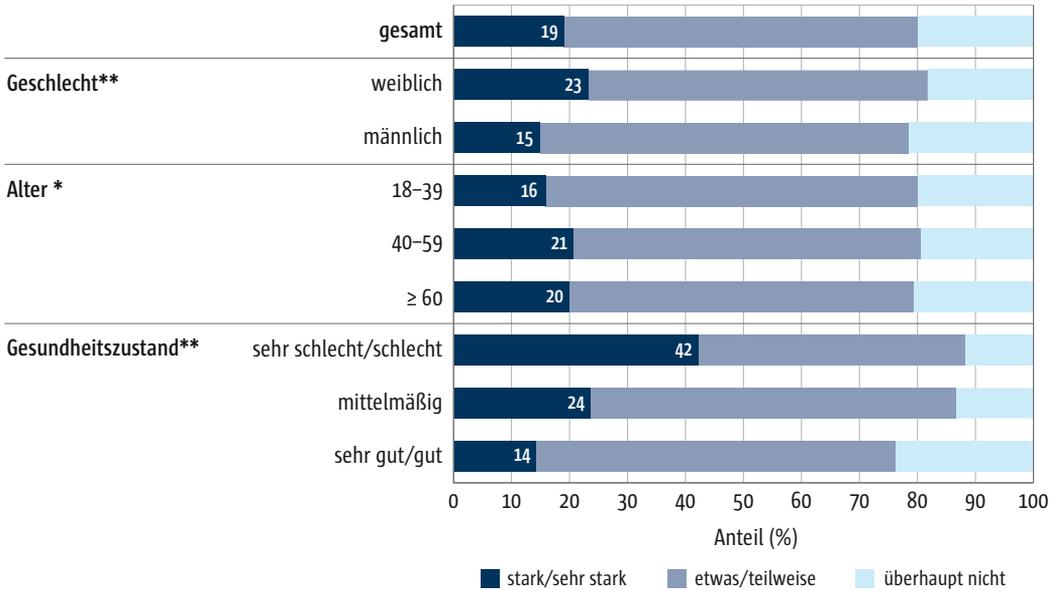
chen Besorgnis. Während beispielsweise knapp 70% der Befragten, die *eher stark* um persönliche gesundheitliche Hitzefolgen besorgt sind, körperliche Belastungen bei Hitze meiden, folgen nur 47 der Befragten, die *eher wenig* besorgt sind, dieser Verhaltensempfehlung. Entsprechendes gilt für die Verlagerung von Aktivitäten im Freien auf die Morgen- und Abendstunden.

Gesundheit bei erhöhter UV-Strahlung

Um das Ausmaß der wahrgenommenen Beeinträchtigungen durch UV-Strahlung zu ermitteln, wurden die Teilnehmenden gefragt, wie sehr sie sich insgesamt durch UV-Strahlung beeinträchtigt fühlen (Skala von *überhaupt nicht* [1] bis *sehr stark* [5]) (s. Abb. 4).

Eine erhöhte Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) in Sommermonaten wird von 80% der Befragten als beeinträchtigend empfunden, von rund einem Fünftel der Befragten (19%) sogar als stark bzw. sehr stark beeinträchtigend. Auch hier fühlen sich Personen mit sehr schlechtem/schlechtem Gesundheitszustand überdurchschnittlich häufig stark belastet (42%).

Ein angemessener UV-Schutz umfasst verschieden Verhaltensweisen, die in den Empfehlungen der Gesundheitsleitlinie zur Prävention von Hautkrebs (AWMF „Leitlinienprogramm Onkologie“ 2016) aufgeführt werden. Das UV-Schutzverhalten der Befragten wurde mit der Frage „Wie reagieren Sie im Alltag bei starker Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung)?“ ermittelt (s. Abb. 5).



Signifikanz des Gruppenunterschiedes basierend auf Chi-Quadrat-Test nach Pearson: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$

Abb. 4 Subjektive Beeinträchtigung durch erhöhte Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand

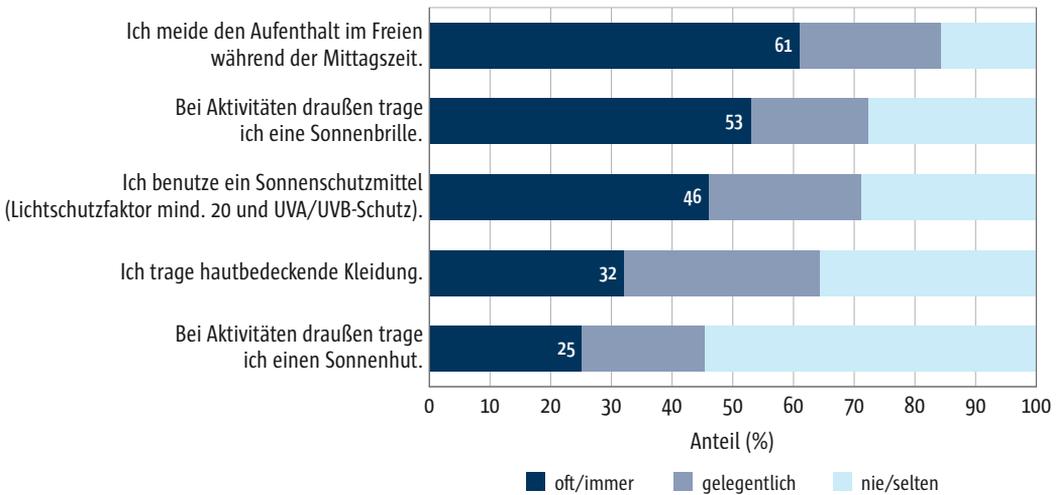


Abb. 5 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor UV-Strahlung (n = 3.006)

Zum Schutz vor starker Sonnenstrahlung meiden 61% der Befragten (*oft/immer*) einen Aufenthalt im Freien während der Mittagszeit und folgen damit der vorrangigsten Maßnah-

me zur Prävention von Hautkrebs. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten (53%) trägt (*oft/immer*) eine Sonnenbrille. Ein gutes Sonnenschutzmittel wird von weniger als der Hälfte

Tab. 4 Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor UV-Strahlung (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung

	gesamt	Alter in Jahren		Gesundheitszustand ²		Informiertheit über UV-Strahlung		Risikoeinschätzung für die eigene Gesundheit ¹	
		unter 64	65 und älter	<i>eher gut</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher gut</i>	<i>eher gering</i>	<i>eher hoch</i>
Zahl der Befragten (N)	3.006	2.291	715	1.954	1.052	1.009	1.997	1.985	1.021
Ich meide den Aufenthalt im Freien während der Mittagszeit.	61,0	56,8	74,7	55,1	72,2	54,7	64,3	53,2	76,4
Bei Aktivitäten draußen trage ich eine Sonnenbrille.	52,5	51,0	57,2	55,0	47,9	45,6	56,0	47,4	62,4
Ich benutze ein Sonnenschutzmittel mit Lichtschutzfaktor (mind. 20) und UVA-/UVB-Schutz.	46,1	46,8	43,8	48,6	41,5	36,4	51,0	36,8	64,3
Ich trage hautbedeckende Kleidung.	32,2	27,8	46,43	29,3	37,6	24,5	36,1	27,5	41,4
Bei Aktivitäten draußen trage ich einen Sonnenhut.	24,6	21,7	33,6	24,0	25,6	18,4	27,6	20,9	31,6

¹abgeleitet aus der Frage: Inwieweit bereiten Ihnen die folgenden Themen Sorgen in Bezug auf Ihre eigene Gesundheit?

eher hoch = Antwortkategorie sehr/ziemlich, *eher niedrig* = Antwortkategorie überhaupt nicht bis mäßig

²Gesundheitszustand *eher gut* = sehr gut/gut, *eher schlecht* = Antwortkategorien sehr schlecht/schlecht/mittel

■: Unterschied > 10 Prozentpunkte, ■: Unterschied > 20 Prozentpunkte

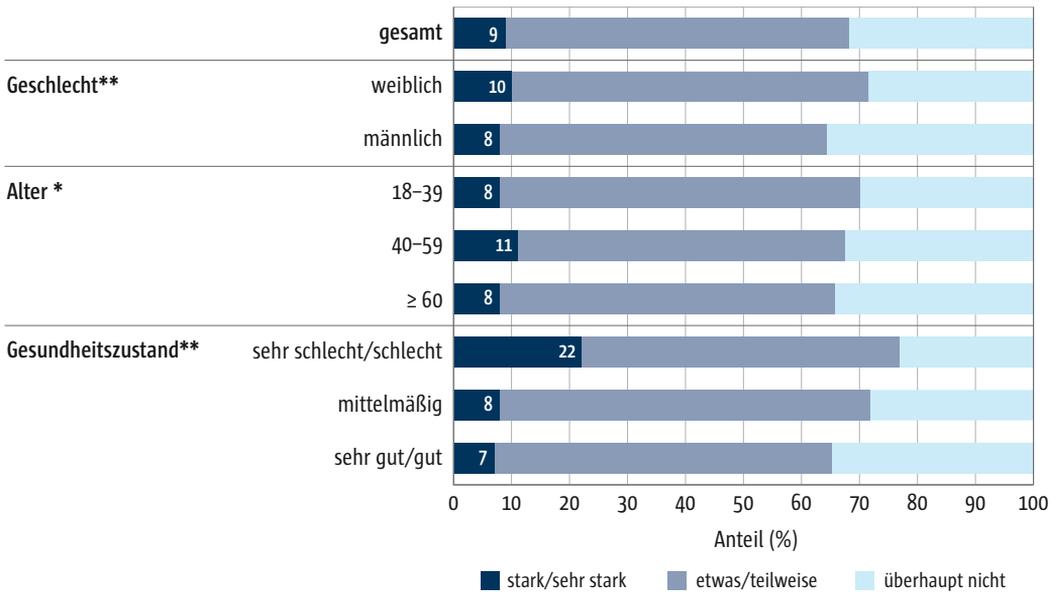
der Bevölkerung (*oft/immer*) verwendet (46%). Ein noch kleinerer Teil der Bevölkerung schützt sich *oft/immer* gezielt über hautbedeckende Kleidung (32%) oder das Tragen eines Sonnenhutes (25%).

Es gibt signifikante Unterschiede im UV-Schutzverhalten der Befragten hinsichtlich Alter und Gesundheitszustand (s. Tab. 4). Menschen ab 65 Jahre bzw. mit eher schlechtem Gesundheitszustand schützen sich häufiger als jüngere bzw. gesündere Menschen, wenn sie das Haus verlassen. Besonders deutliche Unterschiede zeigen sich vor allem auch, wenn man nach der Informiertheit und der persönlichen Risikoeinschätzung für die eigene Gesundheit differenziert. Beispielsweise werden geeignete Sonnenschutzmittel von 51% der Befragten, die

sich gut über das Thema UV-Strahlung informiert fühlen, regelmäßig verwendet. Bei Personen, die sich schlecht informiert fühlen, sind es hingegen nur 36%. Noch deutlicher ist dieser Unterschied zwischen Personen mit hoher UV-Risikoeinschätzung (64%) und niedriger UV-Risikoeinschätzung (37%).

Gesundheit bei erhöhten Schadstoffen in der Atemluft

Um das Ausmaß der wahrgenommenen Beeinträchtigungen durch erhöhte Schadstoffe in der Atemluft zu ermitteln, wurden die Teilnehmenden gefragt, wie sehr sie sich insgesamt durch Schadstoffe (z.B. Ozon, Feinstaub)



Signifikanz des Gruppenunterschiedes basierend auf Chi-Quadrat-Test nach Pearson: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$

Abb. 6 Subjektive Beeinträchtigung durch Schadstoffe in der Luft nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand

beeinträchtigt fühlen (Skala von *überhaupt nicht* [1] bis *sehr stark* [5]) (s. Abb. 6).

Schadstoffe in der Atemluft werden etwa von zwei Dritteln der Befragten (68%) als beeinträchtigend empfunden, allerdings von nur einem Zehntel der Befragten (9%) als stark oder sehr stark beeinträchtigend erlebt. Auch Luftschadstoffe beeinträchtigen überdurchschnittlich häufig Personen mit schlechterem Gesundheitszustand stark/sehr stark (22%). Unter den ausgewerteten Indikationen fiel vor allem die Bevölkerungsgruppe mit Atemwegserkrankungen auf, die mit 17% ebenfalls überdurchschnittlich häufig stärkere Beeinträchtigungen berichtet.

Teilnehmende wurden auch gefragt, wie sie reagieren, wenn sie die Luftqualität als schlecht empfinden. Dafür wurden drei Verhaltensmaßnahmen aufgeführt, die sich an den Empfehlungen des UBA zum Verhalten bei erhöhten Schadstoffkonzentrationen (Ozon) orientieren

(UBA 2019). Die häufigsten Reaktionen der Befragten auf schlechte Luftqualität (Antwortkategorie *oft/immer*) sind körperliche Belastungen, wie Sport, zu meiden (29%) oder die Fenster geschlossen zu halten (28%). Rund ein Fünftel der Befragten (18%) reduziert insgesamt den Aufenthalt im Freien (s. Abb. 7).

Individuelle Anpassungsmaßnahmen an schlechte Luftqualität sind in der Bevölkerung erkennbar weniger weit verbreitet als Maßnahmen zum Schutz vor Hitze und UV-Strahlung. Ältere Menschen und gesundheitlich belastete Personen reagieren deutlich häufiger mit Einschränkung ihrer Aktivitäten im Freien (s. Tab. 5). Personen, die das Risiko von Luftschadstoffen für ihre eigene Gesundheit als *eher hoch* einstufen, setzen schützende Verhaltensmaßnahmen deutlich häufiger um als Personen, die ihr gesundheitliches Risiko *eher niedrig* einstufen.

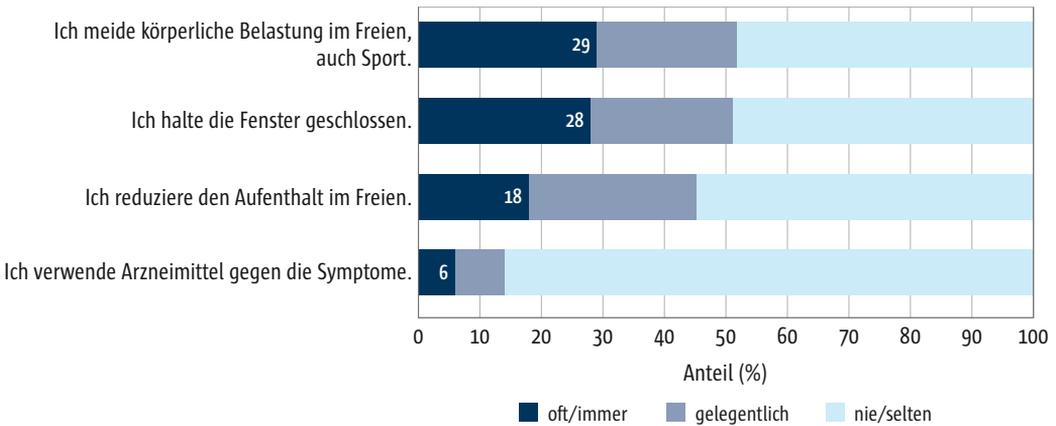


Abb. 7 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen bei erhöhter Schadstoffbelastung in der Luft (n = 3.006)

Tab. 5 Verhalten bei erhöhter Schadstoffbelastung in der Luft (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung

	gesamt	Alter in Jahren		Gesundheitszustand ²		Informiertheit über Schadstoffe		Risikoeinschätzung für die eigene Gesundheit ¹	
		unter 64	65 und älter	<i>eher gut</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher gut</i>	<i>eher gering</i>	<i>eher hoch</i>
Zahl der Befragten (N)	3.006	2.291	715	1.954	1.052	1.236	1.770	1.891	1.115
Ich meide körperliche Belastungen im Freien, auch Sport.	28,9%	24,5	43,2	21,3	43,2	24,2	32,3	19,9	44,3
Ich halte die Fenster geschlossen.	28,1%	25,3	37,3	24,9	34,2	23,1	31,7	19,9	42,2
Ich reduziere den Aufenthalt im Freien.	17,7%	15,0	26,3	13,1	26,4	14,1	20,3	9,5	31,8
Ich verwende Arzneimittel gegen die Symptome.	5,8%	5,5	6,4	3,8	9,4	4,5	6,6	2,9	10,7

¹abgeleitet aus der Frage: Inwieweit bereiten Ihnen die folgenden Themen Sorgen in Bezug auf Ihre eigene Gesundheit?

eher hoch = Antwortkategorie sehr/ziemlich, *eher niedrig* = Antwortkategorie überhaupt nicht bis mäßig

²Gesundheitszustand *eher gut* = sehr gut/gut, *eher schlecht* = Antwortkategorien sehr schlecht/schlecht/mittel

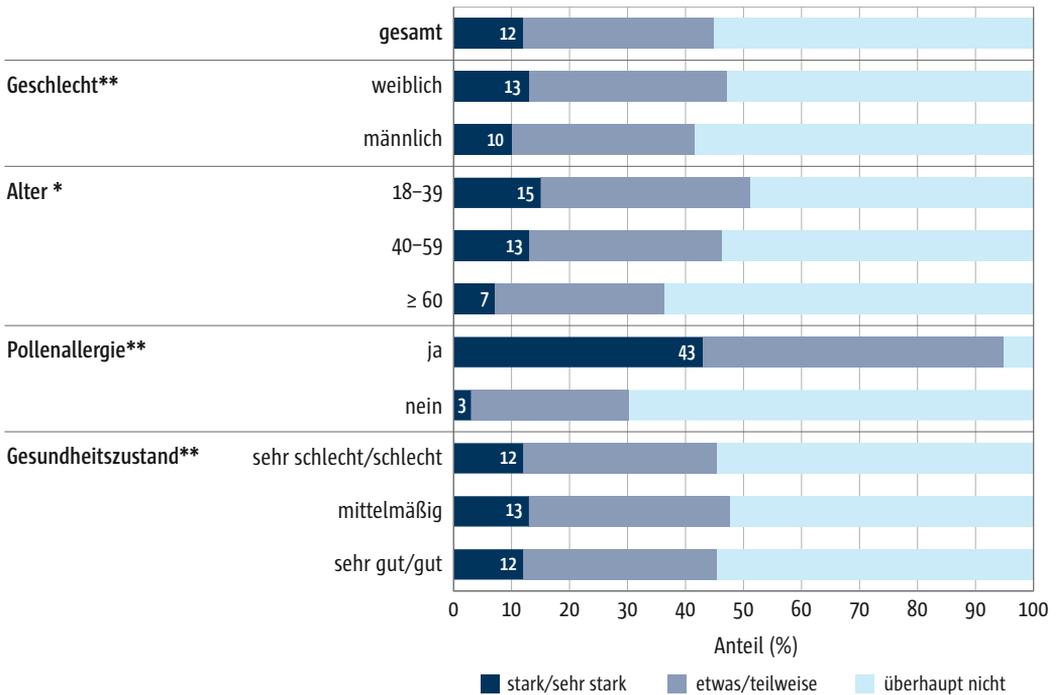
■: Unterschied > 10 Prozentpunkte, ■: Unterschied > 20 Prozentpunkte

Gesundheit bei erhöhter Pollenbelastung

Zur Ermittlung der erlebten Beeinträchtigungen durch Pollen wurden die Teilnehmenden gefragt, wie sehr sie sich insgesamt durch Pol-

len beeinträchtigt fühlen (Skala von *überhaupt nicht* [1] bis *sehr stark* [5]) (s. Abb. 8).

Insgesamt fühlen sich 45% der Befragten in irgendeiner Weise von gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Pollen betroffen, mehr als



Signifikanz des Gruppenunterschiedes basierend auf Chi-Quadrat-Test nach Pearson: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$

Abb. 8 Subjektive Beeinträchtigung durch Pollen nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand

ein Zehntel (12%) stark bzw. sehr stark. Jüngere Menschen im Alter von 18 bis 39 Jahren berichten mehr als doppelt so häufig stärkere Beeinträchtigungen (15%) als Personen über 60 Jahre (7%). Personen mit Pollenallergie (43%) und Personen mit Asthma (31%) geben erwartungsgemäß besonders häufig an, von starken/sehr starken Beeinträchtigungen betroffen zu sein. Der generelle subjektive Gesundheitszustand des Befragten steht in keinem signifikanten Zusammenhang mit Pollenbeschwerden.

Zur Untersuchung des Schutzverhaltens wurden die Teilnehmenden gefragt, welche präventiven Maßnahmen sie in Zeiten des Pollenflugs zum Schutz vor Pollenbeschwerden anwenden (entsprechende Maßnahmen sind z.B. in Kap. 10 aufgeführt). Hierfür werden Personen betrachtet, die sich durch Pollen subjektiv beeinträchtigt fühlen (daher auch Personen ohne ärztlich diagnostizierte Pollenallergie [45%, s. Abb. 8]).

Die aufgeführten Schutzmaßnahmen werden auch von Personen mit pollenallergischen Beschwerden nur begrenzt umgesetzt (s. Abb. 9). Weniger als ein Drittel der Betroffenen setzt die Verhaltensempfehlungen bei Pollenflug regelmäßig um. So halten 33% der Betroffenen (oft/immer) zum Schutz vor Beschwerden „die Fenster geschlossen“, 30% „waschen abends die Haare“ und 29% der Befragten „vermeiden Ausflüge auf Wiesen und Felder“. Ein weiteres Viertel der Befragten führt die Verhaltensmaßnahmen zumindest gelegentlich durch. Etwa die Hälfte der Betroffenen (46%) verwenden (zumindest gelegentlich) Arzneimittel gegen die Symptome (z.B. Antiallergika). Auffallend sind auch hier die Unterschiede hinsichtlich Informiertheit bzw. persönlicher Besorgnis und dem Schutzverhalten (s. Tab. 6). Personen mit besserer Informiertheit und höherer Besorgnis setzen wesentlich häufiger die

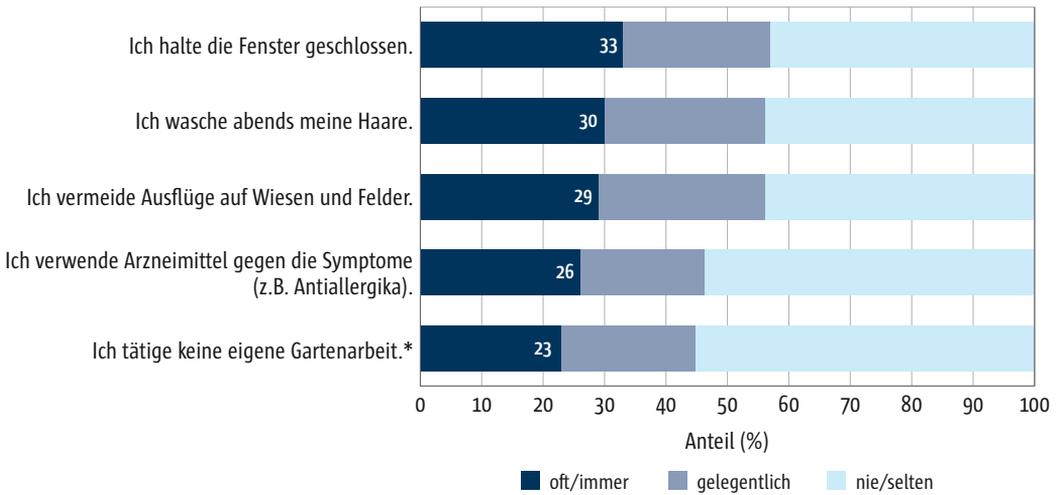


Abb. 9 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen bei erhöhter Pollenbelastung (n = 1.345, Personen mit pollenallergischen Beschwerden, *abweichend Grundgesamtheit: zutreffende Angaben n = 992)

Tab. 6 Verhalten bei erhöhter Pollenbelastung (Antwortkategorie *oft/immer*) von Personen mit Pollenallergie bzw. -beschwerden (n = 1.345) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung

	Alter in Jahren		Gesundheitszustand ²		Informiertheit über Pollen		Risikoeinschätzung für die eigene Gesundheit ¹		
	gesamt	unter 64	65 und älter	<i>eher gut</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher schlecht</i>	<i>eher gut</i>	<i>eher gering</i>	<i>eher hoch</i>
Zahl der Befragten (N)	1.345	1.091	254	846	499	449	896	926	419
Ich halte die Fenster geschlossen.	33,4	31,7	40,6	32,7	34,5	24,3	38,0	24,2	53,7
Ich wasche abends meine Haare.	30,3	33,1	18,5	33,6	24,9	24,3	33,4	24,5	43,2
Ich vermeide Ausflüge auf Wiesen und Felder.	29,4	27,9	36,2	26,6	34,3	17,8	35,3	17,5	55,9
Ich verwende Arzneimittel gegen die Symptome (z.B. Antiallergika).	26,1	27,4	20,5	27,0	24,7	15,8	31,3	15,6	49,4
Ich tätige keine eigene Gartenarbeit.*	22,9	22,5	25,2	21,1	26,1	22,1	23,3	17,9	34,3

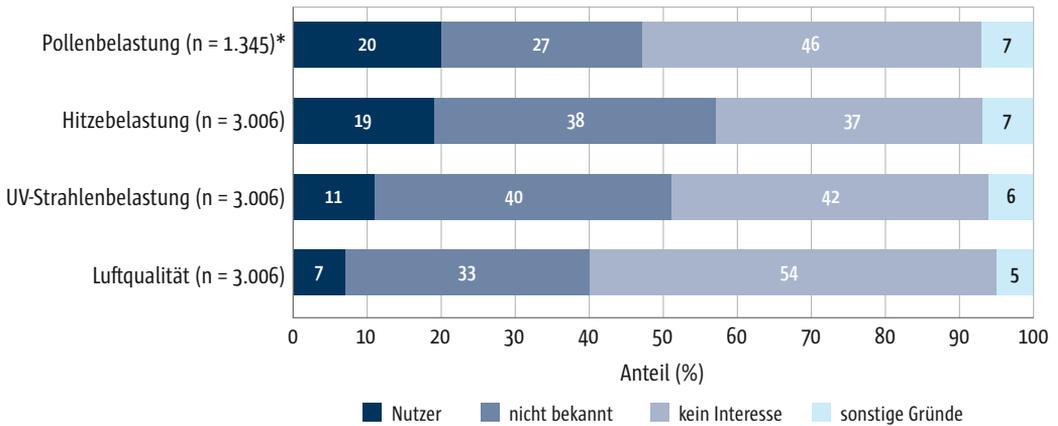
¹abgeleitet aus der Frage: Inwieweit bereiten Ihnen die folgenden Themen Sorgen in Bezug auf Ihre eigene Gesundheit?

eher hoch = Antwortkategorie sehr/ziemlich, *eher niedrig* = Antwortkategorie überhaupt nicht bis mäßig

²Gesundheitszustand *eher gut* = sehr gut/gut, *eher schlecht* = Antwortkategorien sehr schlecht/schlecht/mittel

■: Unterschied > 10 Prozentpunkte, ■: Unterschied > 20 Prozentpunkte

*abweichend Grundgesamtheit: zutreffende Angaben n = 992



*Personen mit Pollenbeschwerden (auch leichten, Kategorie „etwas“ bis „sehr stark“)

Abb. 10 Nutzung von Warn- und Informationsdiensten zu Umweltbelastungen

Verhaltensempfehlungen für Pollenallergiker um als Personen, bei denen Informationsstand und Besorgnis weniger stark ausgeprägt sind.

12.3.3 Nutzung von Informationsdiensten und Vorhersagen zu Umweltbelastungen

Vorhersagen und Warnungen zu Umweltereignissen (z. B. Hitzewarnungen) sind ein weiterer Aspekt der Verhaltensprävention. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) bietet tagesaktuelle Vorhersagen und Warnungen zu gefährdenden Wetterlagen, UV-Warnungen und Pollenflugvorhersagen an. Das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht den Luftqualitätsindex, der aus den gemessenen Konzentrationen von Stickstoffdioxid, Feinstaub (PM₁₀) und Ozon berechnet wird. Diese Informationsdienste richten sich an die Bevölkerung und haben das Ziel, zur Durchführung von Schutz- oder Anpassungsmaßnahmen zu motivieren (Capellaro u. Sturm 2015).

Um Bekanntheit und Interesse an Warn- und Informationsdiensten in der Bevölkerung abschätzen zu können, wurden die Teilnehmenden gefragt, ob sie einen konkreten Warn-

oder Informationsdienst zu den hier untersuchten Umweltbelastungen nutzen (s. Abb. 10).

Warn- und Informationsdienste werden noch relativ selten genutzt und sind vielen der Befragten auch nicht bekannt. Am häufigsten genutzt wird der Pollenfluginformationsdienst, den etwa ein Fünftel der Zielgruppe (Personen mit Pollenbeschwerden) nutzen (20%). Informationsdienste zu Hitzebelastungen werden von weniger als einem Fünftel der Befragten genutzt (19%) und sind mehr als einem Drittel der Befragten auch nicht bekannt (38%). Nur etwa ein Zehntel der Befragten nutzt Informationsdienste zur UV-Strahlenbelastung (11%) oder Luftqualität (7%). Auffällig ist, dass insbesondere Informationsdienste zur Luftqualität bei den Befragten kein Interesse finden (54%).

12.4 Zusammenfassende Diskussion

Die Auswirkungen des Klimawandels erfordern konkrete und zielgerichtete Anpassungsstrategien im Bereich der Gesundheitsvorsorge und -prävention (Bundesregierung 2020). Neben Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen (die hier nicht thematisiert werden) müssen in der Bevölkerung verstärkt präventive Verhaltens-

maßnahmen zum Schutz vor den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels etabliert werden (Bund/Länder Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels [GAK]“ 2017).

Die Befragungsergebnisse sprechen dafür, dass weite Teile der Bevölkerung noch nicht ausreichend über die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels informiert sind. Bei direkt erlebbaren Umweltereignissen wie Hitze oder Unwettern signalisiert immerhin ein Drittel der Befragten klaren Informationsbedarf. Noch deutlicher zeigen sich Informationsdefizite bei Umweltrisiken, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel noch vergleichsweise selten Beachtung finden, wie erhöhte Belastungen durch Luftverschmutzung, Pollenallergene oder durch Wasser und Lebensmittel übertragene Krankheitserreger (s. Abb. 1). 40 bis 50% der Befragten geben an, über diese Themenfelder nicht gut informiert zu sein.

Mit Blick auf die eigene Gesundheit äußern die Befragten in besonderem Maß Besorgnis über Klimafolgen, die durch zunehmende Extremwetterereignisse (Hitze und Unwetter) hervorgerufen werden. Die weniger erlebbaren Folgen des Klimawandels, wie erhöhte Schadstoffbelastungen in der Atemluft, Strahlen- oder Pollenbelastungen, werden in der Gesamtbevölkerung hingegen deutlich seltener als besorgniserregend für die eigene Gesundheit wahrgenommen, obwohl sie aus umweltmedizinischer und epidemiologischer Sicht nicht weniger gesundheitsrelevant sind (s. Kap. 8, 9, 10). Zu vergleichbaren Ergebnissen (mit etwas veränderter Frageformulierung) kam auch eine Studie des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) zur Wahrnehmung des Klimawandels (Berger et al. 2019). Auch in dieser Studie lösten indirekte und weniger sichtbare Folgen des Klimawandels weniger Beunruhigung unter den Befragten aus und sollten in der Konsequenz daher stärker bei der Risikokommunikation berücksichtigt werden. Auffallend in der vorliegenden WIdO-Befragung ist, dass ein großer Teil der Befragten (45%) sich auch Sorgen um die Ausbreitung von krank-

heitsübertragenden Insekten macht (s. Tab. 2). Möglicherweise ist das auf eine erhöhte Medienaufmerksamkeit für klimasensitive Zecken zurückzuführen, die in Deutschland weit verbreitet sind und zu den Überträgern von Infektionen (wie FSME und Borreliose) zählen (s. Kap. 11). Ferner wird in den Medien im Zusammenhang mit dem Klimawandel auch verstärkt über die Ausbreitung von invasiven Mückenarten berichtet, wie im Fall des West-Nil-Fiebers, das im Jahr 2019 zum ersten Mal in Deutschland durch Mücken übertragen wurde (vgl. RKI 2019). Die Ergebnisse der aktuellen Befragung bestärken den Bedarf an fundierten themenspezifischen Informationen, die die Öffentlichkeit erreichen und das breite Themenfeld der klimarelevanten Gesundheitsrisiken abdecken.

Eine zentrale Frage dieser Studie war, in welchem Umfang sich die Befragten im Alltag vor klimaassoziierten Umweltbelastungen schützen. Die Ergebnisse lassen deutliche Unterschiede im Umgang mit den hier untersuchten Umweltrisiken erkennen. Verhaltensempfehlungen zum Schutz vor Hitze finden bei weiten Teilen der Befragten Zustimmung. Deutlich weniger verbreitet sind Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor UV-Strahlung, erhöhten Schadstoffkonzentrationen oder Pollenbelastung. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass diese Umweltrisiken weit weniger als Hitze subjektiv durch den Menschen wahrnehmbar sind und gesundheitlichen Beeinträchtigungen zugeordnet werden können. In der Befragung wird das besonders deutlich am Beispiel der Luftschadstoffe: Weniger als ein Zehntel der Befragten fühlt sich durch erhöhte Schadstoffe in der Atemluft stark beeinträchtigt, bei Hitze sind es mehr als ein Viertel der Befragten, obgleich beide Umweltfaktoren (insbesondere in Städten) häufig zusammen auftreten (s. Kap. 8). Insgesamt legen die Ergebnisse aus dieser Befragung nahe, dass gesundheitsförderliche Maßnahmen zum Schutz vor Umweltrisiken in der Bevölkerung noch nicht ausreichend etabliert sind. Offensichtlich werden insbesondere Risiken von Umweltfaktoren

(wie beispielsweise Luftschadstoffen oder UV-Strahlung), deren Zusammenhang mit subjektiven Auswirkungen nicht unmittelbar erkennbar ist, eher unterschätzt.

Unter den Befragten zeigen sich auch erhebliche Unterschiede im Schutzverhalten. Ältere Menschen und Menschen mit schlechterem Gesundheitszustand passen ihr Verhalten häufiger an erhöhte Umweltbelastungen an als jüngere und gesunde Menschen. Themenübergreifend war zudem festzustellen, dass Personen mit besserem Informationsstand und stärkerer Besorgnis für die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels wesentlich häufiger mit Schutzmaßnahmen reagieren als Personen, bei denen Informiertheit und Risikoeinschätzung geringer ausgeprägt waren. Auch dieser Befund liefert einen klaren Anhaltspunkt für stärkere Bemühungen um Information und Aufklärung in der Bevölkerung. Allerdings ist das Klimaanpassungs- und Schutzverhalten ein komplexer Prozess, der von verschiedenen Faktoren (z.B. auch eingeschränkten Ressourcen, Umwelteinstellungen) beeinflusst wird. Um valide Einflussfaktoren auf das Anpassungsverhalten identifizieren zu können, bedarf es verbesserter Analysen auf Basis verhaltenswissenschaftlicher Erklärungsansätze (ausführlicher hierzu s. Kap. 13).

Übereinstimmend mit anderen Studien (Kunz-Plapp et al. 2016; Borchers et al. 2020) zeigt sich auch in dieser Befragung, dass Personen mit schlechtem Gesundheitszustand wesentlich stärker durch Umweltbelastungen beeinträchtigt sind als gesunde Personen. Dies dürfte sich dadurch erklären, dass der Organismus von gesundheitlich belasteten Personen nicht in gleicher Weise auf extreme Situationen reagieren kann, wie es bei Gesunden der Fall ist, und dass zudem chronisch Erkrankte häufig mit einer Verschlechterung ihrer Symptomatik reagieren (Bund/Länder Ad-hoc-Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels [GAK]“ 2017). Daher müssen sich Informationen zu Schutzmaßnahmen im besonderen Maße auch an vulnerable Bevölkerungsgruppen richten.

Die Anpassung und Weiterentwicklung von Informations- und Frühwarnsystemen ist schon Teil der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit (Bundesregierung 2020). Informationen über zu erwartende Umweltbelastungen können von verschiedenen Stellen tagesaktuell bezogen werden. Sie sollen über institutionalisierte Kommunikationswege (z.B. Landesämter, Gesundheitsämter) und nicht-institutionalisierte Informationswege (Radio, TV, Presse und Internet) die Öffentlichkeit erreichen (Capellaro u. Sturm 2015). Die Ergebnisse aus dieser Umfrage zeigen, dass bestehende Warn- und Informationsdienste weiten Teilen der Bevölkerung nicht bekannt sind bzw. kein Interesse besteht. Die Nutzung ist noch sehr schwach ausgeprägt.

Letztlich zeigen die Ergebnisse, dass weiter deutlicher Informationsbedarf zu den gesundheitlichen Risiken des Klimawandels in der Gesellschaft besteht. Das Schutzverhalten in der Bevölkerung ist verbesserungsfähig, gerade auch mit Blick auf ältere Menschen und vulnerable Gruppen, die besonders gefährdet sind. Vor dem Hintergrund des weiteren Fortschreitens des Klimawandels scheint dies umso mehr geboten. Es besteht eine erhebliche kommunikative Herausforderung auf dem Weg, das individuelle präventive Verhalten zu stärken, wobei auch die heute vorhandenen Informations- und Frühwarnsysteme noch deutlich intensiver genutzt werden können. Verstärkt treten die kommunikativen Herausforderungen bei klimabedingten Gesundheitsbelastung zu Tage, die von den Menschen nicht unmittelbar erlebt werden, aber deswegen keineswegs weniger gefährlich sind.

Literatur

- AWMF „Leitlinienprogramm Onkologie“ (2016) Prävention von Hautkrebs. Gesundheitsleitlinie. URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/032-052011_Pr%C3%A4vention_von_Hautkrebs_2014-04.pdf (abgerufen am 27.02.2021)
- Berger N, Lindemann AK, Böhl GB (2019) Wahrnehmung des Klimawandels durch die Bevölkerung und Konsequenzen für die Risikokommunikation. Bundesgesundheitsbl 62:612–619

- Borchers P, Looks P, Reinfried F, Oertel H, Kugler J (2020) Subjektive Hitzebelastung in einzelnen Fokusgebieten Dresdens. Eine Untersuchung klimatischer, stadtstruktureller und sozialer Merkmale zur Ermittlung von Risikogebieten und Risikogruppen. *Präv Gesundheitsf* 15:303–309
- Bund/Länder Ad-hoc-Arbeitsgruppe ‚Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)‘ (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsbl* 60:662–672
- Bundesregierung (2020) Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. URL: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf (abgerufen am 27.02.2021)
- Capellaro M, Sturm D (2015) Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit. *Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau* (Band 1: Anpassung an den Klimawandel: Evaluation bestehender nationaler Informationssysteme [UV-Index, Hitzewarnsystem, Pollenflug- und Ozonvorhersage] aus gesundheitlicher Sicht – Wie erreichen wir die empfindlichen Bevölkerungsgruppen?)
- Kunz-Plapp T, Hackenbruch J, Schipper JW (2016) Factors of subjective heat stress of urban citizens in contexts of everyday life. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16:977–994
- Statistische Ämter der Länder und des Bundes (2019) Internationale Bildungsindikatoren im Ländervergleich, Ausgabe 2020. URL: <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/internationale-bildungsindikatoren-im-laendervergleich-ausgabe-2020> (abgerufen am 27.02.2021)
- Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2014) Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2012“. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. RKI, Berlin
- Robert Koch-Institut (Hrsg.) (2019) Erste durch Mücken übertragene West-Nil-Virus-Erkrankung beim Menschen in Deutschland. Gemeinsame Pressemitteilung des Friedrich-Loeffler-Instituts, des Bernhard-Nocht-Instituts und des Robert Koch-Instituts. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2019/09_2019.html (abgerufen am 27.02.2021)
- Rohmert W, Rutenfranz J (1975) Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. *Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung* (Hrsg.), Bonn
- Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen (2018) Befragung zum Klimawandel in Leipzig 2018 Ergebnisbericht. URL: https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02_1_Dez1_Allgemeine_Verwaltung/12_Statistik_und_Wahlen/Stadtforschung/Ergebnisbericht_Befragung_zum_Klimawandel_in_Leipzig_2018.pdf (abgerufen am 27.02.2021)
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016) Umweltbewusstsein in Deutschland 2016. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2016> (abgerufen am 27.02.2021)
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019) Klimawandel und Gesundheit. Tipps für sommerliche Hitze und Hitzewellen <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawandel-gesundheitstipps-fuer-sommerliche-hitze> (abgerufen am 27.02.2021)



Caroline Schmuker

Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg. Weiterqualifikation im Fachbereich Epidemiologie an der London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM). Berufliche Stationen: 2009 bis 2011 Trainee am Wissenschaftlichen Institut der AOK (WIdO) im Bereich Gesundheitspolitik und Systemanalysen, zwischen 2012 und 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IGES Institut Berlin. Seit November 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Qualitäts- und Versorgungsforschung am WIdO.



Prof. Dr. med. Bernt-Peter Robra, MPH

Epidemiologe und Sozialmediziner, von 1992 bis 2018 Direktor des Instituts für Sozialmedizin und Gesundheitsökonomie der Universität Magdeburg.



Prof. Dr. med. Kai Kolpatzik, MPH, EMPH

Kai Kolpatzik ist Arzt und Gesundheitswissenschaftler und arbeitete als Assistenzarzt in der Chirurgie in Krankenhäusern in Freiburg und am Bodensee. Stationen in der Gesundheitswissenschaft waren die Universität Bielefeld – mit Abschluss Master of Public Health und European Master of Public Health – und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Genf, bevor er 2004 seine Tätigkeit im AOK-Bundesverband aufnahm. Seit 2009 leitet er die Abteilung Prävention im AOK-Bundesverband. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen auf der Prävention und Gesundheitsförderung, Gesundheitskompetenz, Ernährungskompetenz, Gesundheitskommunikation, Umwelt und Gesundheit sowie digitalen Gesundheit.



Klaus Zok

Klaus Zok studierte Geschichte und Sozialwissenschaften an der Ruhr-Universität Bochum mit Abschluss als Diplom-Sozialwissenschaftler. Seit 1992 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDo). Neben der Durchführung von Versicherten- und Patientenbefragungen zu verschiedenen Themen der aktuellen gesundheitspolitischen Diskussion (z.B. Reformoptionen und Gestaltungsvorschläge) besteht sein Arbeitsschwerpunkt in der Erstellung von Transparenzstudien zu einzelnen Teilmärkten des Gesundheitssystems (z.B. „IGeL“). Ferner beschäftigt er sich mit strategischen und unternehmensbezogenen Erhebungen und Analysen im GKV-System.



Jürgen Klauber

Studium der Mathematik, Sozialwissenschaften und Psychologie in Aachen und Bonn. Seit 1990 im Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDo) tätig. 1992–1996 Leitung des Projekts GKV-Arzneimittelindex im WiDo, 1997–1998 Leitung des Referats Marktanalysen im AOK-Bundesverband. Ab 1998 stellvertretender Institutsleiter und ab 2000 Leiter des WiDo. Inhaltliche Tätigkeitsschwerpunkte: Themen des Arzneimittelmarktes und stationäre Versorgung.

13 Gut für das Klima, gut für die Gesundheit: Perspektiven für individuelle Verhaltensänderungen

Timothy Mc Call, Tatjana P. Liedtke, Claudia Hornberg und Michaela Liebig-Gonglach

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit. DOI 10.32745/9783954666270-13, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Die zahlreichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit verlangen nach einer nachhaltigen Antwort im Rahmen von individuellen Klimaschutz- sowie Klimaanpassungsmaßnahmen auf Verhaltens- und Verhältnisebene. Dies ist insofern relevant, da das individuelle Konsumverhalten privater Haushalte (direkt und indirekt) zu einem erheblichen Teil zum globalen Treibhausgasausstoß beiträgt. Nachhaltige Verhaltensänderungen im Bereich Klimaschutz unterliegen jedoch einer Vielzahl von Einflussvariablen und Hintergrundfaktoren. Um mögliche Ursachen von Diskrepanzen zwischen Einstellung und Verhalten aufzuklären und Verhaltensänderungsansätze abzuleiten, gibt es unterschiedliche modelltheoretische Ansätze. Ein potenziell vielversprechender Ansatz besteht darin, mögliche gesundheitliche Nebeneffekte von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen abzuschätzen und potenzielle positive gesundheitliche Nebeneffekte („Health-Co-Benefits“) von Klimaschutzinterventionen gezielt zu nutzen.

The numerous effects of climate change on health require a sustainable response within the framework of individual climate protection and climate adaptation at the behavioural and relationship level. This is relevant insofar as the individual behaviour of private households (directly and

indirectly) makes a significant contribution to global greenhouse gas emissions. However, long-lasting changes in behaviour in the area of climate protection are subject to a large number of influencing variables and background factors. In order to clarify possible causes of attitudinal and behavioural discrepancies and to derive behavioural change approaches, there are different theoretical approaches. A potentially promising approach consists of assessing possible health co-benefits of climate protection and adaptation measures and making targeted use of potential health co-benefits of climate protection interventions.

13.1 Klimawandel und gesundheitliche Folgen

Nach Angaben des aktuellen Berichts des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen schreiten die Veränderungen des Klimasystems mit einer Intensität voran, die über Jahrzehnte, bis in die 1950er-Jahre hinein, nie verzeichnet wurde (IPCC 2014). Hierbei handelt es sich insbesondere um die Erwärmung der Atmosphäre und

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

Tab. 1 Auswahl gesundheitlicher Auswirkungen des Klimawandels (Pop-Jordanova u. Grigorova 2015, Creative Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0)

Klimaereignis	Auswirkungen der Klimaereignisse	Gesundheits-Outcomes
Hitzewellen	Zunahme des Ozons auf Bodenhöhe, Pollen	Hitzestress, kardiovaskuläre, metabolische und respiratorische Morbidität (z.B. Schlaganfall, Exazerbation von Atemwegserkrankungen)
erhöhte Durchschnittstemperatur	vermehrt günstige Bedingungen für Krankheitsüberträger (z.B. Mücken, Zecken) vermehrt günstige Bedingungen für Infektionskrankheitserreger (z.B. Bakterien)	Vektor-übertragene Krankheiten (z.B. Borreliose, Malaria, Dengue), Lebensmittelvergiftungen, Infektionskrankheiten (z.B. Cholera)
Ozonabbau	UV-Strahlung	Haut- und Augenkrankheiten
Dürre	Wasser-/Nahrungsmittelknappheit, verminderte Wassersicherheit	Dehydrierung, Malnutrition, über das Wasser übertragene Krankheiten
extreme Wetterereignisse	Bevölkerungsbewegung, verminderte Lebensmittel- und Wassersicherheit	Verletzungen, Ertrinken, Konflikte, über das Wasser übertragene Krankheiten, Malnutrition
Anstieg des Meeresspiegels	Bevölkerungsbewegung, Wasser-/Bodenversalzung	Verletzungen, Ertrinken, Konflikte, Dehydrierung, Malnutrition
allgemeine Folgen des Klimawandels	Stress	psychische Gesundheit

der Ozeane, den Rückgang von Schnee und Eis sowie den Anstieg des Meeresspiegels (IPCC 2014). Aktuell steigen die Treibhausgasemissionen weiterhin an. Dennoch kann mit einer strikteren Umsetzung der nationalen Klimaschutzbeiträge (National Determined Contributions; NDCs) das Ziel noch erreicht werden, die Erderwärmung unter 2 bzw. 1,5 Grad Celsius zu halten (United Nations Climate Change Secretariat 2019). Die bisherigen internationalen Bemühungen reichen dafür allerdings bei weitem nicht aus (ebd.). Nachdem auch in Deutschland das nationale Klimaziel trotz der Auswirkungen der SARS-CoV-2-Pandemie im Jahr 2020 verfehlt wird, sind wirksame Maßnahmen umgehend notwendig, um das Ziel für 2030 zu erreichen (SRU 2019). Der Handlungsbedarf nationaler Klimapolitik ist dabei erheblich: Da die beschlossenen Maßnahmen nicht ausreichen, um die gesetzten Klimaziele zu erreichen, ist einerseits die vorhandene Umsetzungslücke zu schließen. Andererseits besteht insbesondere in den Sektoren Gebäude, Landwirtschaft und

Verkehr zudem eine erhebliche Ambitionslücke, da die gesetzten Ziele keinen ausreichenden Beitrag Deutschlands zur Einhaltung der Pariser Klimaziele liefern. So stellt der Klimawandel sowohl im Hinblick auf die Umwelt als auch die Bevölkerungsgesundheit eine wesentliche globale Herausforderung dar (ebd.).

Neben den vielfältigen, sich abzeichnenden und prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels, beispielsweise auf die Natur sowie die Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, (Khazalah u. Gopalan 2019) sind auch gesundheitliche Auswirkungen für die Bevölkerung nicht auszuschließen. Insbesondere die Untersuchung gesundheitlicher Auswirkungen bilden einen großen Bestandteil aktueller Klimaforschung (Pop-Jordanova u. Grigorova 2015).

Für das Jahr 2019 stuft die WHO den Klimawandel als eines der größten Umweltrisiken für die menschliche Gesundheit ein (WHO 2020). Grundsätzlich lassen sich zahlreiche gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels differenzieren (Eis et al. 2010) (s. Tab. 1).

Die Gesundheits-Outcomes sind unmittelbare Folgen von Klimaveränderungen, insbesondere durch thermische Extremwetterbelastungen auf den menschlichen Organismus. So steigen mit zunehmender Wärme- bzw. Kältebelastung u. a. die Anforderungen an das Herzkreislaufsystem (s. Kap. 4) (Pop-Jordanova u. Grigorova 2015). In diesem Zusammenhang sind bspw. auch bestimmte Berufsgruppen wie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Baubranche häufiger gegenüber Hitze exponiert und so unmittelbar von einem erhöhten Gesundheitsrisiko als Folge des Klimawandels betroffen. Für diese Berufsgruppen ist die Etablierung und Umsetzung entsprechender Schutzmaßnahmen erforderlich (Applebaum et al. 2016; Gao et al. 2018).

Die Veränderung von Hitze, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit fördert zudem die Verbreitung von krankheitsübertragenden Insekten aus südlichen Klimazonen, welche wiederum gesundheitsrelevante Folgen hat (s. Kap. 10 und 11) (Wu et al. 2016). Als weitere Auswirkung des Klimawandels zeigt sich außerdem eine Veränderung der Allergenexpositionen, die sowohl auf eine höhere Allergenproduktion von einzelnen Pflanzenarten, als auch auf eine Verlängerung der Pollenflugsaison zurückzuführen ist. Dies erhöht v. a. die gesundheitliche Belastung für Allergikerinnen und Allergiker (Zebisch et al. 2005; Höflich 2014), aber auch die mit den Therapien verbundenen Krankheitskosten (GBE 2000). Im urbanen (und ländlichen) Raum können klimatische Veränderungen zudem zur Entstehung von Smog beitragen, was ebenfalls ein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung darstellt (s. Kap. 8) (Manisalidis et al. 2020).

Die zu erwartenden weitreichenden Folgen der Klimakrise zeigen neben Unterschieden einige deutliche und belastbare Parallelen zu der aktuellen, weltweiten Betroffenheit durch die SARS-CoV-2-Pandemie. Das schließt sowohl das bestehende hohe gesundheitliche Risiko, insbesondere für vulnerable Menschen, als auch die starke Auswirkung auf die (Welt-)Wirtschaft ein. Bei der Klimakrise wie auch der

SARS-CoV-2-Pandemie handelt es sich um Trends mit hoher Dynamik, teilweise irreversiblen Veränderungen, sozialer und räumlicher Ungleichheit sowie einer sich abzeichnenden Schwächung der internationalen Solidarität.

Darüber hinaus gelten die komplexen Zusammenhänge zwischen zunehmenden Umweltbelastungen und der Zerstörung von Naturräumen nicht nur als Ursachen für die globale Klimaveränderung, sondern haben auch ursächlich durch engen Mensch- und (Wild-)Tierkontakt zur Entstehung der SARS-CoV-2-Pandemie beigetragen (vgl. Vinodh Kumar et al. 2020). Hinzu kommt, dass lokale Umweltbelastungen offenbar auch den Schweregrad des COVID-19-Krankheitsverlaufs direkt beeinflussen können (EEA 2020). In einer US-amerikanischen Untersuchung konnte mit Daten auf County-Ebene eine Zunahme von einem Mikrogramm Feinstaub pro m³ (Particulate Matter, PM_{2,5}) mit einer statistisch signifikanten Zunahme der COVID-19-Mortalitätsrate um 8% (95%-Konfidenzintervall: 2%-15%) assoziiert werden (Wu et al. 2020). Auch weitere Studien weisen auf diesen Zusammenhang hin (Cole et al. 2020; Ogen 2020).

13.2 Klimasensibilität und individuelle Verhaltensänderungen – eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive

Die vielfältigen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels verlangen nach einer nachhaltigen Antwort im Rahmen von individuellen Klimaschutz- sowie Klimaanpassungsmaßnahmen (Watts et al. 2015). Diese sind – der Public-Health-Maxime folgend – sowohl auf der verhältnispräventiven (z.B. Gebäudedämmung, Installation von Schattenspendern, Anpflanzen von Bäumen) als auch auf der individuellen, verhaltenspräventiven (z.B. regelmäßige Flüssigkeitszufuhr, Sonnenschutz) Ebene erforderlich (Böckmann u. Hornberg 2020; Pauli u. Hornberg 2010).

Vor dem Hintergrund individueller Verhaltensänderungen beschäftigen sich unterschiedliche Fachdisziplinen, wie Public Health (Böckmann u. Hornberg 2020; Mc Call et al. 2019), Psychologie (Schwarzer 2004) und Soziologie (Diekmann u. Preisendörfer 2001; Davis et al. 2015), mit Strategien zur Neubildung, Veränderung und Stabilisierung von individuellen und populationsbezogenen umweltrelevanten Einstellungs- und Verhaltensmustern. Hierfür sind Verhaltensweisen mit individuellen (z.B. Wissen und Einstellung einer Person) und kollektiven Merkmalen (z.B. soziale Milieus) in den Blick zu nehmen (Herrmann et al. 2018). Bevölkerungsumfragen und (Umwelt-)Bewusstseinstudien sollen dabei helfen, individuelles umwelt- und klimawandelrelevantes Wissen in der Bevölkerung zu ermitteln (Hoffmann 2012).

Studien weisen darauf hin, dass ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein in Richtung einer stärkeren Umweltverantwortlichkeit zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung für eine nachhaltige Verhaltensänderung darstellt (Geiger 2020; Kuckartz 2005; Kuckartz et al. 2007). Dies bedeutet zum einen, dass umweltbewusstes Handeln prinzipiell auch ohne umweltrelevante Wissensbestände erfolgen kann. Zum anderen zeigt es, dass umwelt- und klimabewusstes Handeln oftmals nicht mit Informationsstand, Wertehaltungen und Verhaltensintentionen erklärt werden kann. Es existiert demzufolge häufig eine Kluft zwischen den Einstellungen von Menschen und ihrem individuellen Klimaschutzverhalten. Folglich ist auch der Rückschluss von einem hohen Umweltbewusstsein auf ein gleichzeitig vorliegendes und daraus resultierendes umweltfreundliches Verhalten nur eingeschränkt möglich.

Als häufigste Gründe für ein nicht nachhaltiges umweltgerechtes Verhalten bei gleichzeitig ausgeprägtem Umweltbewusstsein gelten insbesondere alltägliche, routinierte Gewohnheitsmuster und Verhaltensweisen, eingeschränkte (finanzielle) Ressourcen, mangelnder Anreiz, geringe Rückmeldung über die Verhaltensfolgen, oder auch mangelndes Wissen über

die tatsächliche Verhaltensrelevanz (Montaño u. Kasprzyk 2008; Graf 2007; Bamberg et al. 1995).

Um die Ursachen der Einstellungs-Verhaltensdiskrepanz aufzuklären und so (konzeptionelle) Ansätze zur Verhaltensänderung abzuleiten, können theoretische Ansätze und Erklärungsmodelle aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen hilfreich sein. Beispielhaft sind neben den *Rational-Choice-Modellen* (Diekmann u. Preisendörfer 2001) oder der *Theory of Planned Behaviour* von Ajzen (1991) sowie Fishbein und Ajzen (1975), das *Transtheoretical Model* von Prochaska und DiClemente (1992), das *Norm-Aktivierungs-Modell* (Hunecke 2000) sowie das häufig angewandte *Health-Belief-Modell* (Champion u. Skinner 2008) genannt.

Auch wenn sich die o.g. Modelle und Theorien in ihrer Definition und Ausprägung hinsichtlich der einzelnen Variablen unterscheiden, gibt es Einflussfaktoren, die in nahezu jedem dieser Verhaltensmodelle berücksichtigt werden und mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Verhaltensänderung vorhersagen. So kann beispielsweise ein solches Verhaltensmodell zu der Vorhersage gelangen, dass Personen, die bei individuellen Klimaschutzmaßnahmen (z.B. Wechsel von PKW auf das Fahrrad) auch gesundheitsförderliche Potenziale (z.B. Reduzierung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen) für sich selbst annehmen, mit einer höheren Wahrscheinlichkeit ihr Verhalten ändern als Personen, die hier nur einen geringen Zusammenhang sehen.

Zudem geht jeder dieser Ansätze von der Annahme aus, dass die subjektive *Risikowahrnehmung* den motivationalen Ausgangspunkt für eine Änderung des bisherigen (Gesundheits-) Verhaltens bildet (Schwarzer 2004; Weinstein et al. 1998). Wenn Personen den Klimawandel für sich als individuelles Risiko wahrnehmen, dann sind sie eher bereit, ihr Verhalten zu verändern, als Personen, die mit dem Klimawandel keine persönlichen Nachteile oder Einschränkungen assoziieren. Auch der erwartete Schweregrad der Beeinträchtigungen sowie die prognostizierte Auftretenswahrscheinlichkeit der Beeinträchtigungen bestimmen die Risiko-

wahrnehmung (Glanz et al. 2008). Personen, die beispielsweise davon ausgehen, dass der Klimawandel sowohl an Qualität (z.B. Extremwetterereignisse wie Hochwasser, Hitze) als auch an Quantität (Häufigkeit dieser Ereignisse) zunehmen wird, sind voraussichtlich eher bereit, sich klimaschützend zu verhalten, als Personen, die diese Bedrohung nicht wahrnehmen.

Die zuvor genannten Theorien nehmen zudem an, dass eine hohe *Handlungswirksamkeit* (also die Erwartung, eine Beeinträchtigung mindern oder verhindern zu können) Personen eher motiviert, ihr Verhalten zu ändern (Glanz et al. 2008). Beispielsweise kann ein Verhaltensmodell zu der Vorhersage gelangen, dass Menschen, die zwar ein hohes Risikopotenzial im Klimawandel erkennen, sich trotzdem nicht klimaschützend verhalten, da sie davon ausgehen, dass ihre Verhaltensänderung keinen unmittelbaren Einfluss auf das Klima hat.

Neben den o.g. Aspekten wirken sich zudem Hintergrundfaktoren, wie allgemeine Einstellungen zum Umwelt- oder Klimaschutz, persönliche Werte oder das (umwelt- und klimawandelbezogene) Wissen, auf (klimaschützendes) Verhalten aus (Glanz et al. 2008). Auch wenn der Einfluss dieser Faktoren bisher als eher gering eingeschätzt wird (Weller 2008), sollte die Vermittlung von Wissens- und damit handlungsbezogenen Kompetenzen zu Umweltschutzthemen perspektivisch als ein Instrument für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen diskutiert werden (Böckmann u. Hornberg 2020).

Neben den unterschiedlichen Einflussvariablen und Hintergrundfaktoren stehen umweltfreundliche und klimabewusste Verhaltensänderungen vor einer weiteren Herausforderung. Die positiven Effekte einer individuellen CO₂-Emissionsreduktion für das lokale Klima werden subjektiv nicht oder kaum wahrgenommen (Weber 2010). Eine Verknüpfung zwischen umweltfreundlicher und/oder klimabewusster Verhaltensänderung und einem individuellen positiven Beitrag für die Umwelt ist für die jeweilige Person oftmals nur schwer möglich. Da die Assoziation nur bedingt hergestellt wird,

gibt es vielversprechende Ansätze, die neben einer primären CO₂-Emissionsreduktion außerdem gesundheitliche Nebeneffekte betrachten (Watts et al. 2015; Herrmann et al. 2018).

13.3 Health Co-Benefits durch individuelle Klimaschutzmaßnahmen

13.3.1 Privater Konsum als Treiber von Treibhausgasemissionen

Das individuelle Konsumverhalten privater Haushalte trägt zu einem erheblichen Teil zum globalen Treibhausgasausstoß bei (Hertwich u. Peters 2009). Zu den klimarelevantesten Kategorien des privaten Konsums zählt neben der Mobilität und dem Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser insbesondere die Nutzung von produzierten Gütern, einschließlich Nahrungsmitteln (s. Tab. 2). Der indirekt geleistete Beitrag, der im Zuge der Produktions- und Bereitstellungskette der Waren und Konsumgüter entsteht, wird dabei insgesamt als wesentlich bedeutender eingeschätzt als der Beitrag, der aus dem direkten Ge- und Verbrauch durch die Konsumentinnen und Konsumenten resultiert (Hertwich u. Peters 2009).

Tab. 2 Auswahl von Konsumbereichen privater Haushalte mit relevanten Quellen für Treibhausgasemissionen

Konsumbereich	Beispiele
Nahrungsmittel	tierische Lebensmittel/Fleisch, Internationale Importe
Mobilität	PKWs, Flüge
Reisen	Flüge, Kreuzfahrten
Energieverbrauch	Heizung, Strom
Produktqualität	Lebensdauer (z.B. Elektrogeräte), Energiesparkapazität
Konsum allgemein	übermäßiger Erwerb
Einwegprodukte	Verpackungen (z.B. Lebensmittel)

Der individuelle Konsum bietet demzufolge ein breites Potenzial, im Zuge individueller Verhaltensänderung einen Beitrag zur Minderung von Treibhausgasemissionen zu leisten. Um Menschen zu einer nachhaltigen Verhaltensänderung zu bewegen, müssen allerdings Anreize geschaffen und die persönliche Motivation gefördert werden.

13.3.2 Health Co-Benefits – Gesundheitsgewinn durch klimafreundliches Verhalten

Umweltschutzmaßnahmen, die auf verhältnispräventiver Ebene umgesetzt werden, wie bspw. die Schaffung von Grünräumen und -anlagen oder Maßnahmen zum Immissionschutz (z.B. Umweltzonen in Großstädten), bringen nicht nur Vorteile für das lokale Klima (Beaudoin u. Gosselin 2016), sondern leisten auch gleichzeitig einen Beitrag für die Gesundheit der Bevölkerung. Auch auf individueller Ebene bringt ein klimafreundliches Verhalten in der Regel substanzielle gesundheitliche Vorteile bzw. gesundheitliche Nebeneffekte, sogenannte Health Co-Benefits, mit sich.

Im Bereich der Ernährung vermindert bspw. die Reduktion des Fleischverzehrs das persönliche Risiko kardiovaskulärer Erkrankungen und reduziert gleichzeitig die Treibhausgasemissionen durch einen geringeren Nutztierbedarf (Quam et al. 2017; Drew et al. 2020). Ein Health Co-Benefit im Zusammenhang mit Mobilität besteht bspw. darin, dass der Umstieg auf einen aktiven Transport, d. h. vom PKW auf das Fahrrad, die Emission klimaschädigender Schadstoffe vermindert und gleichzeitig die eigene kardiovaskuläre Gesundheit fördert (Lindsay et al. 2011; Wolking et al. 2018).

Ein klimafreundlicher Lebensstil kann demzufolge im doppelten Sinne als gesundheitsförderlich betrachtet werden. Zum einen resultiert eine direkte gesundheitsfördernde Wirkung auf persönlicher Ebene bspw. durch körperliche Aktivität. Gleichzeitig resultieren aus dem indivi-

duellen klimafreundlichen Verhalten aber auch sekundäre Effekte mit einer kollektiven Wirkung, indem bestimmte Risikofaktoren, wie Klimaveränderungen oder Schadstoffbelastungen, für die breite Bevölkerung vermindert werden.

Die Wahrnehmung gesundheitlicher Co-Benefits, die aus einem klimafreundlichen Lebensstil resultieren, kann in einzelnen Konsumbereichen als wichtiger Motivator für eine Verhaltensänderung hin zu einem bewussten und klimaschonenden Verhalten dienen. Inwiefern eine Verhaltensumstellung für den oder die Einzelne(n) überhaupt realisierbar ist, hängt jedoch nicht ausschließlich von der persönlichen Bereitschaft ab, sondern wird auch unmittelbar von den gegebenen Infrastrukturen oder bestehenden Barrieren beeinflusst (Quam et al. 2017). Der Umstieg auf einen „aktiven Transport“ vom PKW auf das Fahrrad erfordert bspw. eine entsprechende Infrastruktur in Form von sicheren Radwegnetzen (Quam et al. 2017). Gleiches gilt auch für das Beispiel einer klimafreundlichen Ernährung. Die Entscheidung, die Ernährung auf regional hergestellte Produkte mit kurzen Lieferwegen zu beschränken, wird unmittelbar von dem jeweils lokal bereitgestellten Angebot im Lebensmittelhandel mitbestimmt.

Eine Verhaltensänderung hin zu einem nachhaltigeren, klimaschonenden und gleichzeitig gesundheitsförderlichen Lebensstil wird demzufolge von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die sowohl auf der Verhältnis- als auch der individuellen Verhaltensebene liegen (Pauoli u. Hornberg 2010).

13.3.3 Voraussetzungen für eine nachhaltige klimafreundliche Verhaltensänderung

Nur wenige Studien haben bislang untersucht, inwieweit ein potenzieller Gesundheitsgewinn Menschen dazu motiviert, das eigene Verhalten zugunsten des Klimaschutzes anzupassen (Myers et al. 2012; Herrmann et al. 2018).

Die europäische HOPE-Studie untersucht(e) in einem transdisziplinären Forschungsansatz

in urbanen Haushalten aus vier einkommensstarken europäischen Ländern, inwieweit Informationen über Health Co-Benefits die Entscheidung beeinflussen, klimafreundliche Maßnahmen im eigenen Haushalt umzusetzen (Herrmann et al. 2018). Im Rahmen der Studie sollten, neben Kriterien der individuellen Motivation, insbesondere auch Barrieren und Präferenzen für bestimmte Maßnahmen herausgestellt, sowie monetäre Kosten und Einsparungen für die Haushalte ermittelt werden (Herrmann et al. 2018).

Ziel der Studie war es außerdem zu prüfen, für welche klimafreundlichen Maßnahmen prinzipiell die höchste Bereitschaft in den unterschiedlichen europäischen Haushalten besteht und inwieweit sich diese Maßnahmen mit den derzeitigen lokalen, landesweiten und europäischen umweltpolitischen Strukturen decken.

Als Methode wurde in der HOPE-Studie ein Mixed-Methods-Ansatz mit drei Interaktionsschritten gewählt.

1. Zunächst wurde der individuelle CO₂-Fußabdruck der Haushalte ermittelt.
2. In einem weiteren Schritt erfolgte im Rahmen der Simulation unterschiedlicher freiwilliger und auferlegter Reduktionsszenarien eine Präferenzbewertung. Dafür wurden den Haushalten verschiedene Optionen für Maßnahmen (aus den Bereichen Wohnen, Transport, Ernährung und Konsum) zur Reduktion des eigenen CO₂-Fußabdrucks um 50% vorgestellt. Alle Haushalte erhielten zudem Informationen über die Höhe der jeweiligen CO₂-Einsparung sowie der monetären Einsparungen bzw. Kosten durch die Maßnahmen. Die Hälfte der Haushalte wurde außerdem explizit über die im Zusammenhang mit den Maßnahmen resultierenden Gesundheitsgewinne informiert.
3. Als letzter Schritt erfolgte ein vertiefendes Interview mit einem Haushaltsmitglied u. a. über Motivatoren und Barrieren einer Reduzierung des CO₂-Fußabdruckes sowie die Gesundheitswahrnehmung.

Erste Teilergebnisse der Haushaltsbefragung im Rahmen der HOPE-Studie konnten zeigen, dass jene Haushalte, die Informationen zum jeweiligen Health Co-Benefit, also dem gesundheitlichen Zusatznutzen individueller klimafreundlicher Maßnahmen erhielten, diesen Maßnahmen eher zustimmten als Haushalte, die keine zusätzlichen Informationen zu möglichen Health Co-Benefits erhielten (Ameling et al. 2019). Die Bedeutung des Faktors „Wissen“ als zentrale Voraussetzung für eine Verhaltensänderung wird auch durch Hinweise aus anderen Untersuchungen gestützt, die zeigen konnten, dass insbesondere jüngere Personen mit einem höheren Bildungsstand und einem höheren Familieneinkommen eher mit dem Begriff der Health Co-Benefits vertraut sind und deren gesundheitlichen Zusatznutzen wahrnehmen (Shi et al. 2016; Gao et al. 2017).

Ein potenzieller Gesundheitsgewinn kann demnach als wichtiger Einflussfaktor in der Entscheidungsfindung für einen nachhaltigen Lebensstil betrachtet werden. Positiv bestärkende Kommunikationsstrategien, die einen Gesundheitsgewinn durch ein bestimmtes Verhalten in den Vordergrund stellen (z.B. bei regelmäßiger körperlicher Aktivität), werden dabei als deutlich erfolgreicher eingeschätzt, um eine Verhaltensänderung herbeizuführen, als Kommunikationsstrategien, die lediglich einen möglichen Gesundheitsverlust fokussieren (Gallagher u. Updegraff 2012).

In die öffentliche klimapolitische Diskussion eingebrachte Zusatzinformationen über die potenziellen Health Co-Benefits durch klimafreundliche Verhaltensweisen könnten demzufolge zielführend als sinnvoller Bestandteil eines erfolgreichen Konzepts zur Erhöhung der Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen sein. Ferner könnte die Vermittlung von Wissens- und handlungsbezogenen Informationen über entsprechende Health Co-Benefits Inhalt zukünftiger Curricula in Schulen, Studiengängen und Ausbildungsberufen sein (Böckmann u. Hornberg 2020).

Die Ergebnisse der HOPE-Studie haben allerdings auch gezeigt, dass klimafreundliche Maßnahmen, die zwar einen direkten gesundheitlichen Vorteil mit sich bringen, aber auch mit einem gewissen Maß an persönlichem Aufwand verbunden sind, wie das Umsteigen von einem PKW auf öffentliche Transportmittel, häufiger eine geringere Zustimmung erfahren (Amelung et al. 2019). Klimafreundliche Maßnahmen, die keine merkliche Verhaltensumstellung erfordern, aber auch keinen direkten gesundheitlichen Vorteil mit sich bringen, wie im Fall einer Anschaffung von effizienteren Elektrogeräten, werden hingegen konsequenter befürwortet (Amelung et al. 2019). Im Mobilitätssektor gestaltet sich die Bereitschaft einer Umstellung des Verhaltens generell besonders schwierig und Informationen über relevante Health Co-Benefits können die Bereitschaft zu einer Verhaltensanpassung nur seltener fördern (Amelung et al. 2019). Hier müssen andere Strategien mit einer Lenkungsfunktion entwickelt werden, wie bspw. monetäre Anreize, um eine Verhaltensumstellung zu bewirken. Ob diese Strategien einen nachhaltigen Erfolg mit sich bringen, muss allerdings wissenschaftlich belegt werden.

13.3.4 Sozialverträglicher Klimaschutz

Die Umstellung auf einen klimafreundlichen Lebensstil stellt insbesondere einkommensschwache Haushalte in vielen Bereichen vor große Herausforderungen (Pauli u. Hornberg 2010).

Die häufig nur unzureichenden Kenntnisse von Health Co-Benefits und die mangelnde Wahrnehmung des gesundheitlichen Zusatznutzens von Verhaltensmaßnahmen stellen dabei nur einzelne Aspekte dar, die eine Barriere für eine Verhaltensumstellung bilden (Gao et al. 2017).

Ein wesentliches, strukturelles Problem besteht vielmehr darin, dass Haushalte mit ge-

ringem Einkommen generell einen überproportional hohen Anteil ihres verfügbaren Einkommens für Konsumgüter der Grundversorgung aufbringen müssen (UBA 2020). Eine gesunde und nachhaltige Lebensführung wird durch die gegebenen Verhältnisse für viele Menschen eher erschwert. Häufig sind Lebensmittel mit schlechter Ökobilanz und geringer Qualität nicht nur am kostengünstigsten, sondern fördern auch die Entstehung ernährungsbedingter Erkrankungen und tragen so zur Entstehung gesellschaftlich getragener Folgekosten bei (Maschowski 2020). Hohe energiebezogene Belastungen in einkommensschwachen Haushalten stehen häufig im Zusammenhang mit einem vergleichsweise hohen Energieverbrauch, der sich nicht nur aus einer mangelhaften Energieeffizienz des Wohnraums ergibt, sondern insbesondere auch durch ein ineffizientes und klimaunfreundliches Nutzerverhalten gekennzeichnet ist, bspw. Heizen des Wohnraums bei gleichzeitig gekipptem Fenster (UBA 2020). Für einkommensschwache Haushalte besteht demnach ein hohes Risiko für eine sogenannte energiebedingte Deprivation, die sich aus hohen finanziellen Belastungen durch einen hohen Konsum bei steigenden Energiepreisen und einem geringen Einkommen ergeben kann (ebd.). Die Unterversorgung mit Strom und Wärme geht wiederum unmittelbar mit einem Verlust an Lebensqualität einher und birgt somit auch ein erhöhtes Risiko gesundheitlicher Einschränkungen (Reibling u. Jutz 2016). Demnach stellt das Konzept steigender Energiepreise kein adäquates Mittel mit einer nachhaltigen Lenkungswirkung hin zu einer ökologischen Verbrauchsminderung dar (Brunner et al. 2015). Als nachhaltige Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs gelten nicht nur eine Förderung von technischen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in den Haushalten, sondern vielmehr zielgruppenspezifische Beratungen (bspw. zum Energiesparen) von Nutzerinnen und Nutzern (UBA 2020).

13.3.5 Gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Paradigmenwechsel

Die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen stellt eine große gesellschaftliche Herausforderung dar. Damit diese von der Bevölkerung mitgetragen werden, ist es zum einen entscheidend, den Menschen die Bedeutung und Sinnhaftigkeit von Klimaschutzmaßnahmen zu verdeutlichen. Die Bevölkerung muss durch transparente Aufklärung sensibilisiert werden, um so ein Bewusstsein und Verständnis für die Notwendigkeit der Umsetzung von Maßnahmen zu schaffen. Dabei ist es nicht ausreichend, nur deren Sinnhaftigkeit zu vermitteln, sondern insbesondere auch deren Handhabbarkeit muss verdeutlicht werden. Das bedeutet u.a., dass für alle Menschen die notwendige Unterstützung gewährleistet werden muss und ausreichende Ressourcen zur Verfügung stehen, um die Anforderungen bewältigen zu können. Nur durch die Schaffung eines solchen Kohärenzgefühls in der Bevölkerung können bestehende Barrieren und Blockaden für einen nachhaltigeren Lebensstil langfristig abgebaut werden (Maschkowski 2015)

Neben einer starken persönlichen Motivation für eine Verhaltensänderung sind also auch (infra-)strukturelle und politische Maßnahmen erforderlich, die Haushalte in der Umsetzung von umwelt- und klimaschonendem Verhalten unterstützen. Aus Perspektive privater Haushalte werden Maßnahmen zum Klimaschutz als eine gemeinsame Aufgabe öffentlicher und privater Akteure betrachtet, deren Umsetzung global und sozial gerecht erfolgen sollte (Herrmann et al. 2020).

Individuelle Verhaltensänderungen können demnach einen Schritt hin zur Reduzierung der globalen CO₂-Emissionen sein. Als große Herausforderung auf individueller Ebene gilt dabei weiterhin, die hohe Diskrepanz zwischen Bedenken und Einstellung zu Um-

welt(schutz-)themen und dem konkreten individuellen Beitrag in Form von umweltschonendem Verhalten zu reduzieren (Bravo u. Farjam 2020). So zeigt das Ergebnis der Umweltbewusstseinsstudie in Deutschland von 2018, dass Menschen, die ein höheres Umweltbewusstsein besitzen, einen nur tendenziell geringeren CO₂-Fußabdruck aufweisen als weniger umweltbewusste Menschen (Geiger 2020). Dieser eher schwache Zusammenhang zwischen Umweltbewusstsein und Umwelthandeln belegt erneut den Befund, dass ein hohes Umweltbewusstsein nicht zwingend zu dem entsprechenden umweltfreundlichen Verhalten führt (Geiger 2020, 38).

Einen Wertewandel in einem Gesellschaftssystem zu erreichen, in dem das Wirtschaftswachstum und der Konsum fortwährend als wesentliche Voraussetzung für das Wohlbefinden der Menschen postuliert werden, stellt allerdings eine schwierige Aufgabe dar (Maschkowski 2015). Für einen langfristig erfolgreichen Klimaschutz muss daher ein breiter gesellschaftlicher (Werte-)Wandel stattfinden, der nicht allein auf (Konsum-)Verzicht und Vorschriften für den oder die Einzelne fußen darf, sondern ein bewusstes Umdenken und eine selbst gestaltete Neustrukturierung der Gesellschaft erfordert (Maschkowski 2015).

Ein gesellschaftlicher Wandel kann demzufolge nur in enger Zusammenarbeit mit Politik und Wirtschaft gelingen, um die notwendigen Rahmenbedingungen für einen klimafreundlichen Lebensstil zu schaffen. Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie Stakeholder aus Politik und Wirtschaft muss der vielschichtige Gewinn verdeutlicht werden, der durch gesundheitliche Co-Benefits im Zusammenhang mit klimafreundlichem Verhalten erzielt werden kann.

Das übergeordnete Ziel unserer Gesellschaft sollte sein, ein klimafreundliches Verhalten als explizite Ausrichtung des eigenen Lebensstils gesellschaftlich zu verfestigen.

Literatur

- Ajzen I (1991) The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179–211
- Amelung D, Fischer H, Herrmann A, Aall C, Louis VR, Becher H, Wilkinson P, Sauerborn R (2019) Human health as a motivator for climate change mitigation: results from four European high-income countries. *Global Environmental Change* 57, 101918
- Applebaum KM, Graham J, Gray GM, LaPuma P, McCormick SA, Northcross A, Perry M (2016) An Overview of Occupational Risks From Climate Change. *Current environmental health reports* 3, 13–22
- Bamberg S, Bien W, Schmidt P (1995) Wann steigen Autofahrer auf den Bus um? Oder: Lassen sich aus sozialpsychologischen Handlungstheorien praktische Maßnahmen ableiten? In: Diekmann A (Hrsg.) *Kooperatives Umwelthandeln. Modelle, Erfahrungen, Maßnahmen*, 1. Aufl., 89–112. Rüegger Chur
- Beaudoin M, Gosselin P (2016) An effective public health program to reduce urban heat islands in Québec, Canada. *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health* 40, 160–166
- Böckmann M, Hornberg C (2020) Klimawandel und Gesundheit: Neue Herausforderungen für Public Health. *Public Health Forum* 28, 81–83
- Bravo G, Farjam M (2020) The gap between self-reported and actual contributions to climate change mitigation in US residents. *SocArVix Papers-Preprint*, 1–12
- Brunner K-M, Mandl S, Christianell A, Leitner M, Kirsch-Soriano da Silva K (2015) Local action against fuel poverty in Austria. *ECEEE SUMMER STUDY PROCEEDINGS*, 527–534
- Champion VL, Skinner CS (2008) The health belief model. In: Glanz K, Rimer BK, Viswanath K (Hrsg.) *Health behavior and health education. Theory, research, and practice*, 4. Aufl., 45–65. Jossey-Bass San Francisco, Calif.
- Cole M, Ozgen C, Strobl E (2020) Air Pollution Exposure and COVID-19. *IZA Institute of Labor Economics Bonn*
- Davis R, Campbell R, Hildon Z, Hobbs L, Michie S (2015) Theories of behaviour and behaviour change across the social and behavioural sciences: a scoping review. *Health psychology review* 9, 323–344
- Diekmann A, Preisendörfer P (2001) *Umweltsoziologie. Eine Einführung*. Rowohlt-Taschenbuch-Verl. Reinbek bei Hamburg
- Drew J, Cleghorn C, Macmillan A, Mizdrak A (2020) Healthy and Climate-Friendly Eating Patterns in the New Zealand Context. *Environmental health perspectives* 128, 170071–1700713
- EEA (2020) *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe*. EEA Report. European Environment Agency Copenhagen
- Eis D, Helm D, Laußmann D, Stark K (2010) *Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht*. Robert Koch-Institut Berlin
- Fishbein M, Ajzen I (1975) *Belief, attitude, intention and behavior. An introduction to theory and research*. Addison-Wesley Reading, Mass.
- Gallagher KM, Updegraff JA (2012) Health message framing effects on attitudes, intentions, and behavior: a meta-analytic review. *Annals of behavioral medicine : a publication of the Society of Behavioral Medicine* 43, 101–116
- Gao C, Kuklane K, Östergren P-O, Kjellström T (2018) Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *International journal of biometeorology* 62, 359–371
- Gao J, Xu G, Ma W, Zhang Y, Woodward A, Vardoulakis S, Kovats S, Wilkinson P, He T, Lin H, Liu T, Gu S, Wang J, Li J, Yang J, Liu X, Wu H, Liu Q (2017) Perceptions of Health Co-Benefits in Relation to Greenhouse Gas Emission Reductions: A Survey among Urban Residents in Three Chinese Cities. *International journal of environmental research and public health* 14, 1–21
- GBE (2000) *Spezialbericht Allergien. Teil 9 Kosten allergiebedingter Krankheiten in Deutschland*. Stand: 28. September 2020. URL: http://www.gbe-bund.de/gbe10/abrechnung.prc_abr_test_logon?p_uid=gast&p_aid=0&p_knoten=FID&p_sprache=D&p_suchstring=4438 (abgerufen am 17.01.2021)
- Geiger S (2020) Weiterentwicklung einer Skala zur Messung von zentralen Kenngrößen des Umweltbewusstseins. *Texte* 25/2020
- Glanz K, Rimer BK, Viswanath K (Hrsg.) (2008) *Health behavior and health education. Theory, research, and practice*, 4. Aufl. Jossey-Bass San Francisco, Calif.
- Graf D (2007) Die Theorie des geplanten Verhaltens. In: Krüger D, Vogt H (Hrsg.) *Theorien in der biomedizinischen Forschung*, 33–43. Springer Berlin Heidelberg Berlin, Heidelberg
- Herrmann A, Fischer H, Amelung D, Litvine D, Aall C, Andersson C, Baltruszewicz M, Barbier C, Bruyère S, Bénèvisse F, Dubois G, Louis VR, Nilsson M, Richardsen Moberg K, Sköld B, Sauerborn R (2018) Household preferences for reducing greenhouse gas emissions in four European high-income countries: Does health information matter? A mixed-methods study protocol. *BMC public health* 18, 1–12
- Herrmann A, Sauerborn R, Nilsson M (2020) The Role of Health in Households' Balancing Act for Lifestyles Compatible with the Paris Agreement—Qualitative Results from Mannheim, Germany. *International journal of environmental research and public health* 17, 1–24
- Hertwich EG, Peters GP (2009) Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology* 43, 6414–6420
- Hoffmann A (2012) Folgen des Klimawandels im urbanen Kontext. *Public Health Forum* 20, 7–8
- Höflich C (2014) *Klimawandel und Pollen-assoziierte Allergien der Atemwege*. Umwelt und Mensch – Informationsdienst, 1–10
- Hunecke M (2000) *Ökologische Verantwortung, Lebensstile und Umweltverhalten*. Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2000. Asanger Heidelberg
- IPCC (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*. IPCC Geneva
- Johns Hopkins University & Medicine (2020) *COVID-19 Dashboard*. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (abgerufen am 17.02.2021)
- Khazalah M, Gopalan B (2019) Climate Change—Causes, Impacts, Mitigation: A Review. In: Pradhan B (Hrsg.) *GCEC 2017*, 715–721. Springer Singapore Singapore

- Kuckartz U (2005) Umweltbewusstsein und Umweltverhalten. Stand: 2005. URL: <https://www.bpb.de/izpb/8971/umweltbewusstsein-und-umweltverhalten?p=all> (abgerufen am 17.02.2021)
- Kuckartz U, Rädiker S, Rheingans-Heintze A (2007) Determinanten des Umweltverhaltens – Zwischen Rhetorik und Engagement. Vertiefungsstudie im Rahmen des Projektes „Repräsentativumfrage zu Umweltbewusstsein und Umweltverhalten im Jahr 2006“
- Lindsay G, Macmillan A, Woodward A (2011) Moving urban trips from cars to bicycles: impact on health and emissions. *Australian and New Zealand journal of public health* 35, 54–60
- Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E (2020) Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in public health* 8, 14
- Maschkowski G (2015) Vom Verbraucher zum Change Agent: Impulse der Transition-Town-Bewegung für eine große Transformation aus salutogenetischer Perspektive. In: Bala C, Schulzins W (Hrsg.) *Der verantwortungsvolle Verbraucher Aspekte des ethischen, nachhaltigen und politischen Konsums*, 19–39. vz-nrw (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen e.V.) Düsseldorf
- Maschowski G (2020) Ernährung im Fokus 01/2020 – Schwerpunktthema: Klima- und umweltfreundliche Ernährung. Bundeszentrum für Ernährung (BZfE) in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). URL: https://www.bzfe.de/fileadmin//resources/import/pdf/eif/2001_planetary_health_diet.pdf (abgerufen am: 26.02.2021)
- Mc Call T, Beckmann S, Kawe C, Abel F, Hornberg C (2019) Climate change adaptation and mitigation – a hitherto neglected gender-sensitive public health perspective. *Climate and Development* 11, 735–744
- de Montaña, Kasprzyk D (2008) Theory of reasoned action, theory of planned behavior, and the integrated behavioral model. In: Glanz K, Rimer BK, Viswanath K (Hrsg.) *Health behavior and health education. Theory, research, and practice*, 4. Aufl., 67–96. Jossey-Bass San Francisco, Calif.
- Myers TA, Nisbet MC, Maibach EW, Leiserowitz AA (2012) A public health frame arouses hopeful emotions about climate change. *Climatic Change* 113, 1105–1112
- Ogen Y (2020) Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *The Science of the total environment* 726, 138605
- Pauli A, Hornberg C (2010) Sozialräumliche und gesundheitsbezogene Implikationen des Klimawandels im Kontext von Klimaschutz und Klimaanpassung. *Verhaltenstherapie und psychosoziale Praxis (VPP)* 42, 313–329
- Pop-Jordanova N, Grigorova E (2015) Influence of Climate Changes on Health (Review). *Prilozi (Makedonska akademija na naukite i umetnostite. Oddelenie za medicinski nauki)* 36, 119–125
- Prochaska JO, DiClemente CC (1992) The Transtheoretical Approach. In: Norcross JC (Hrsg.) *Handbook of psychotherapy integration*. Basic Books New York, NY
- Quam VGM, Rocklöv J, Quam MBM, Lucas RAI (2017) Assessing Greenhouse Gas Emissions and Health Co-Benefits: A Structured Review of Lifestyle-Related Climate Change Mitigation Strategies. *International journal of environmental research and public health* 14
- Reibling N, Jutz R (2016) Die Bedeutung von Wohnbedingungen für die soziale Ungleichheit im Gesundheitszustand. In: Großmann K, Schaffrin A, Smigiel C (Hrsg.) *Energie und soziale Ungleichheit. Zur gesellschaftlichen Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa*, 157–184. Springer VS Wiesbaden
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2019) Für die Umsetzung ambitionierter Klimapolitik und Klimaschutzmaßnahmen. Offener Brief vom 16.09.2019. URL: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2019_09_Brief_Klimakabinet.pdf;jsessionid=A90D1512D91CFE28ACA8BE6557616FF9.2_cid284?__blob=publicationFile&v=8 (abgerufen am 17.02.2021)
- Schwarzer R (2004) Psychologie des Gesundheitsverhaltens. Einführung in die Gesundheitspsychologie, 3. Aufl. Hogrefe Göttingen
- Shi J, Visschers VHM, Siegrist M, Arvai J (2016) Knowledge as a driver of public perceptions about climate change reassessed. *Nature Clim Change* 6, 759–762
- UBA (2020) Sozialverträglicher Klimaschutz – Abschlussbericht. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_2020_66_sozialvertraeglicher_klimaschutz_final.pdf (abgerufen am 17.02.2021)
- United Nations Climate Change Secretariat (2019) Climate action and support trends. Based on national reports submitted to the UNFCCC secretariat under the current reporting framework. United Nations Climate Change Secretariat Bonn
- Vinodh Kumar OR, Ramkumar, Pruthivishree BS, Tripti Pande, Sinha DK, Singh BR, Kuldeep Dhama, Yashpal S Malik (2020): SARS-CoV-2 (COVID-19): Zoonotic Origin and Susceptibility of Domestic and Wild Animals. *Coronaviruses and COVID-19-Past, Present, and Future*. In: *J. Pure Appl. Microbiol.* 14 (suppl 1), 741–747. DOI: 10.22207/JPAM.14.SPL1.11
- Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, Chaytor S, Colbourn T, Collins M, Cooper A, Cox PM, Depledge J, Drummond P, Ekins P, Galaz V, Grace D, Graham H, Grubb M, Haines A, Hamilton I, Hunter A, Jiang X, Li M, Kelman I, Liang L, Lott M, Lowe R, Luo Y, Mace G, Maslin M, Nilsson M, Oreszczyn T, Pye S, Quinn T, Svendsdotter M, Venevsky S, Warner K, Xu B, Yang J, Yin Y, Yu C, Zhang Q, Gong P, Montgomery H, Costello A (2015) Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet* 386, 1861–1914
- Weber M (2010) Globaler Klimawandel und Alltagshandeln – Zur Schwierigkeit der individuellen Wahrnehmung globaler Umweltprobleme. *Verhaltenstherapie & Psychosoziale Praxis* 42, 345–354
- Weinstein ND, Rothman AJ, Sutton SR (1998) Stage theories of health behavior: Conceptual and methodological issues. *Health Psychology* 17, 290–299
- Weller I (2008) Konsum im Wandel in Richtung Nachhaltigkeit? Forschungsstand und Perspektiven. In H. Lange (Hrsg.): *Nachhaltigkeit als radikaler Wandel. Die Quadratur des Kreises?* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 43–70

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

WHO (2020) Ten threats to global health in 2019. URL: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019> (abgerufen am 17.02.2021)

Wolkinger B, Haas W, Bachner G, Weisz U, Steinger K, Hutter H-P, Delcour J, Griebler R, Mittelbach B, Maier P, Reifeltshammer R (2018) Evaluating Health Co-Benefits of Climate Change Mitigation in Urban Mobility. International journal of environmental research and public health 15

Wu X, Lu Y, Zhou S, Chen L, Xu B (2016) Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. Environment international 86, 14–23

Wu X, Nethery RC, Sabath BM, Braun D, Dominici F (2020) Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. medRxiv : the preprint server for health sciences

Zebisch M, Grothmann T, Schröter D, Hasse C, Fritsch U, Cramer W (2005) Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien Klimasensitiver Systeme. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2947.pdf> (abgerufen am 17.02.2021)



Dr. PH Timothy Mc Call

Gesundheitswissenschaftler und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe 1 „Sustainable Environmental Health Sciences“ der Medizinischen Fakultät OWL. Seine Forschungsschwerpunkte sind Umweltpsychologie, Klimawandel, -schutz und -anpassung sowie therapeutische Landschaften.



Tatjana P. Liedtke, M.Sc. PH

Gesundheitswissenschaftlerin in der Arbeitsgruppe 1 „Sustainable Environmental Health Sciences“ der Medizinischen Fakultät OWL. Ihre Forschungsschwerpunkte sind umweltbedingte Krankheitslasten, Gesundheit und Behinderung sowie eHealth-Interventionen.



Univ.-Prof. Dr. med. Claudia Hornberg

Biologin, Ökologin und Fachärztin für Hygiene und Umweltmedizin. Seit 2002 leitet sie die Arbeitsgruppe Umwelt und Gesundheit an der Fakultät für Gesundheitswissenschaften der Universität Bielefeld. Im Jahr 2018 wurde sie zur Gründungsdekanin der Medizinischen Fakultät an der Universität Bielefeld berufen und leitet dort die AG 1 „Sustainable Environmental Health Sciences“. Claudia Hornberg ist seit 2016 Vorsitzende des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU).



Dr. rer nat. Michaela Liebig-Gonglach, M.Sc. PH

Biologin und Gesundheitswissenschaftlerin sowie wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe 1 „Sustainable Environmental Health Sciences“ der Medizinischen Fakultät OWL. Ihre Forschungsschwerpunkte sind Umweltbelastungen, (tieffrequente) Schallwirkungen, Bevölkerungsgesundheit und Environmental Burden of Disease.



Strukturelle und organisatorische Anpassungen an den Klimawandel

14 Notwendige Anpassungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung aufgrund hitzebedingter Dehydrationsrisiken

Stephanie Krebs, Anna Larina Lietz und Martina Hasseler

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-14, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Der Klimawandel bedingt weltweit einen deutlichen Temperaturanstieg, welcher sich auf physiologische und biochemische Regulationssysteme des menschlichen Körpers auswirkt. Eine Beeinflussung des Regulationssystems kann zu einer Dehydratation bis hin zur Ausprägung einer Exsikkose führen, welche weitere gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorruft. Diese Auswirkungen verlangen ein gesellschaftliches Verständnis, aber auch strukturelle sowie medizinische und pflegerische Anpassungen in der Versorgung. Prävention, intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit sowie Forschung, Bildung und Transfer in die Praxis müssen ausgebaut werden.

Worldwide Climate change causes a significant rise in temperature, which affects the biochemical regulatory systems of the human body. An influence on the regulatory system can lead to dehydration up to the development of exsiccosis. This causes further health problems. These consequences require social understanding and structural as well as medical and nursing adjustments have to be made. Prevention, intersectoral and multi-professional cooperation as well as research, education and transfer into practice must be expanded.

14.1 Einleitung

In Kapitel 1 und 2 dieses Buches wird die Vielseitigkeit des Klimawandels bereits umfänglich dargestellt. Entscheidend ist, dass bereits von 1881 bis 2014 die Temperatur deutlich angestiegen ist, sowohl im Jahresdurchschnitt (+1,3°C) als auch im Sommer (+1,2°C) und im Winter (+1,1°C) (Kaspar u. Mächel 2017). Bis 2100 wird eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 3,7°C erwartet (Watts et al. 2019). Somit steigen die Wahrscheinlichkeit für sogenannte extreme Hitzetage und die Länge sommerlicher Hitzewellen (Deutschländer u. Mächel 2017). In Städten ist der *urban heat island effect*, welcher die Kombination hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Städten gegenüber weniger besiedelten Regionen beschreibt, zu betonen (Landsberg 2011; Basu u. Samet 2002).

Der Klimawandel beeinflusst weltweit die menschliche Gesundheit (Jendritzky 2007; Bunz u. Mücke 2017; Bein et al. 2020). Ebenfalls werden aufgrund des Klimawandels die Temperaturen in den Einrichtungen des Gesund-

heitswesens steigen. Diese Entwicklung muss eine stärkere Berücksichtigung finden, denn in Krankenhäusern, Pflegeheimen und Rehabilitationseinrichtungen sind zumeist vulnerable Menschen (oftmals > 60 Jahre alt) mit gesundheitlichen Einschränkungen temporär oder langfristig untergebracht, die hinsichtlich hoher Temperatur größere Empfindlichkeiten aufweisen (Welzer u. Kolland 2014). Eine weitere Bevölkerungsgruppe, die von den klimabedingten Veränderungen in gesundheitlicher Hinsicht beeinflusst wird, sind Kinder und Säuglinge (BMUB 2017).

Ein Anstieg der Umgebungstemperaturen beeinflusst den Wasserhaushalt des menschlichen Körpers. Bei erhöhten Temperaturen gibt der Körper über den Schweiß vermehrt Wasser und Elektrolyte ab (Achenbach 2004). Eine Minderung des Wasserhaushaltes wird als Dehydration bezeichnet, der folgende Zustand der Austrocknung als Exsikkose (medizinische Fachredaktion Psyhyrembel 2020). In beiden Fällen ist mit weitreichenden Folgen für den Gesundheitszustand der Betroffenen zu rechnen. Bei Behandlung und Pflege vulnerabler Gruppen sind hitzebedingte Anpassungen in den Einrichtungen der Gesundheitsversorgung unabdingbar.

Die Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen kann in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung u.a. durch Handlungen der pflegerischen und medizinischen Fachpersonen erfolgen. Ebenso können strukturelle und prozessuale Gegebenheiten der spezifischen Gesundheitseinrichtung förderlich gestaltet werden. Des Weiteren beeinflussen pflegebedürftige/oder zu behandelnde Menschen durch ihre eigene Performanz unterstützende Faktoren im Umgang mit hitzebedingten adäquaten Maßnahmen.

Die Frage der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die gesundheitliche Situation pflegebedürftiger und zu behandelnder Menschen wird im folgenden Beitrag in mehreren Schritten skizziert. Nach der Darstellung der Veränderung des Wasserhaushaltes und

dessen Bedeutung hinsichtlich eines erhöhten Dehydrationsrisikos werden Maßnahmen vorgestellt, die bereits in Deutschland in Einrichtungen der Gesundheits- und Pflegeversorgung umgesetzt werden. Der Beitrag schließt mit weiterführenden Hinweisen für erforderliche Verbesserungen und diesbezüglichen Forschungsbedarfen.

14.2 Hitzebedingte Dehydrationsrisiken

Das hitzebedingte Dehydrationsrisiko liegt im biologischen Aufbau des menschlichen Körpers begründet. Wasser kann bis zu 60% des menschlichen Körpers ausmachen. Eine einzelne Zelle, der Grundbaustein eines jeden menschlichen Organismus, besteht zu 70% aus Wasser. Damit stellt der Wasserhaushalt die Lebensgrundlage des menschlichen Organismus dar (Löffler u. Petrides 1998). Mit dem Wasserhaushalt ist der Elektrolythaushalt (unter anderem Kalium-, Calcium-, Magnesium- und Natriumhaushalt) eng verzahnt. Basierend auf der Brownschen Molekularbewegung (wärmebedingte Teilchenbewegung) und Diffusion und Osmose (Teilchenbewegungen entlang von Konzentrationsgefällen/durch eine semipermeable Membran), wird der Flüssigkeitsgehalt im menschlichen Körper in einem biochemischen Gleichgewicht gehalten. Zusätzlich reguliert der menschliche Körper seine Körpertemperatur, indem er Schweiß absondert, der sich aus Wassermolekülen und Elektrolyten zusammensetzt. Die Verdunstung des Wassers auf der Haut reduziert die Körpertemperatur (Achenbach 2004).

Das komplexe Regelungssystem des Wasser- und Elektrolythaushaltes hat zur Folge, dass sich das Flüssigkeitsgleichgewicht vielfältig auf den menschlichen Körper auswirkt, sodass verschiedene Symptome auftreten, wenn das biochemische Gleichgewicht nicht mehr ausgewogen ist. Unter anderem können unspezifische Symptome wie **Müdigkeit**, **Übelkeit**, **Kopfschmerzen** (Suchner et al. 2018) und besonders bei älteren Menschen eine **erhöhte**



Sturzanzahl, vermehrte Krankenhausaufnahmen (Wysocki et al. 2014; Nash u. Bergin 2018; Hsiao u. Hing 2014), ein **Kalziumanstieg im Blut** (Walker 2015), **Thrombose** (Zarowitz et al. 2010) und die Bildung von **Druckgeschwüren** (Little 2013; van Leen et al. 2017; Langer u. Fink 2014) beobachtet werden.

Wirth führt an, dass eine Diagnose der Dehydration besonders bei älteren Menschen schwierig ist, da keines der „diagnostischen Zeichen über eine ausreichende Sensitivität und Spezifität verfügt“ (Wirth 2020). Dehydration wurde auch bereits mit verschiedenen Diagnosen wie **Diabetes mellitus** (Varlemann et al. 2015), **Niereninsuffizienz** (Lenssen u. Liekweg 2016), **Gastroenteritis** (Gallelli et al. 2010), **Lungenentzündung** (Nakagawa et al. 2014), **kardiologischen Einschränkungen** (Wit et al. 2017) und **Krebserkrankungen** (Wiffen et al. 2014) beschrieben. In der geriatrischen Medizin wird Dehydration oft in Verbindung mit Delir genannt. Dies ist mit besonderer Aufmerksamkeit zu betrachten: Einerseits kann eine Dehydration zu einem Delir führen. Umgekehrt kann ein Delir ungenügende Ess- und Trinkmenge bedingen, sodass sich ein dehydrierter Zustand einstellt (Volkert et al. 2013).

Bunker et al. berichten in ihrer Metaanalyse von einem signifikanten Anstieg der Dehydration bei zunehmender Temperatur (3,12% pro 1°C; 95% CI 0,74–5,56) (Bunker et al. 2016). Die Symptome von Dehydration und Exsikkose bei Hitzewellen werden in Einrichtungen des Gesundheitswesens als vermeidbar eingestuft. Jedoch wird eine adäquate Einschätzung aufgrund fehlender sensitiver und spezifischer Einschätzungsinstrumente als schwierig beschrieben (Brennan et al. 2019). Schon bei alltäglichen klimatischen Bedingungen ist die Symptomatik oft nicht einfach zu erkennen und ihrer Ursache zuzuordnen. Bak et al. führen aus, dass es der menschliche Wasserhaushalt als dynamisches Gleichgewicht zwischen Flüssigkeitsabgabe und Flüssigkeitsaufnahme erschwert, geeignete Assessments und Messinstrumente zur individuellen Bestimmung

des Flüssigkeitshaushaltes zu entwickeln bzw. in der Praxis einzusetzen (Bak et al. 2017). Forschende haben differenzierte Daten erhoben, um Dehydration festzustellen, unter anderem auf Basis von Hypernatriämie, Urinfarbe, spezifischem Gewicht des Urins, Urinvolumen, Speichelosmolarität, Tränenosmolarität, Übelkeit, Protokollen der Flüssigkeitsbilanz, Körperschwäche, Müdigkeit, Veränderung der Körpergewichts, feuchten Schleimhäuten, Bild der Zunge, bioelektrischer Impedanz, Osmolarität des venösen Blutserums, Hautdruck/Hautbild, Trockenheit von Mund und Haut, Achsel-trockenheit, Rekapillarierungszeit (Nagelbettprobe, Zeit der Kapillaren, um den Ausgangszustand wieder zu erreichen), eingefallenen Augen, Blutdruck, Körpertemperatur, Pulsfrequenz und erfragtem Durst sowie Wohlfühlberichten (Bunn u. Hooper 2019; Bunn et al. 2015).

Ein starker Konsensus zur klinischen Ernährung und Hydratation in der Geriatrie besteht der Leitlinie der Europäischen Gesellschaft Klinische Ernährung und Stoffwechsel (ESPEN) folgend für die direkte Bestimmung der Serum- oder Plasmaosmolalität und einer direkten Bestimmung der gemessenen Serumosmolalität > 300 mOsm/kg. Es wird die Stoffmenge aller osmotisch aktiven Teilchen im Blut gemessen, um Rückschlüsse auf den bestehenden Flüssigkeitshaushalt ziehen zu können. Wenn dies in der diagnostischen Einschätzung nicht möglich ist, wird die Osmolaritätsgleichung (Osmolarität = $1,86 \times (\text{Na}^+ + \text{K}^+) + 1,15 \times \text{Glukose} + \text{Harnstoff} + 14$ (alle Maßzahlen in mmol/L) empfohlen (Hooper et al. 2015). Die Osmolaritätsgleichung gibt allerdings nur darüber Aufschluss, wie viel Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Glukose und Harnstoff pro Liter Flüssigkeit im Blut eines menschlichen Körpers enthalten sind. Dieses Vorgehen umfasst also weniger Komponenten. Diese Erhebungen könnten mit Trinkprotokollen ergänzt werden (starker Konsens). Eindeutig wird sich dafür ausgesprochen, dass einfache Anzeichen und Tests wie Feststellung des Hautturgors, Mundtrocken-

heit, Gewichtsveränderung, Urinfarbe oder spezifisches Gewicht nicht zur Beurteilung des Flüssigkeitshaushaltes bei älteren Erwachsenen verwendet werden sollten. Ebenso wenig sollte die bioelektrische Impedanz zur Beurteilung des Hydratationszustandes bei älteren Erwachsenen verwendet werden (Volkert et al. 2019). Es ist zu berücksichtigen, dass Messinstrumente mit starkem Konsens eine Blutentnahme und eine Untersuchung der Blutprobe im Labor benötigen. Diese sind im Alltag zwar anwendbar, aber aufwendig und nicht regelhaft.

Hinzu kommen weitere Probleme im Erkrankungsprozess, wie ein Fallbericht von Schnieders und Kolb zeigt: In diesem wird beschrieben, dass eine akutstationäre Aufnahme einer 81-jährigen Patientin und die daraus resultierenden Komplikationen wie Sturz und Tod durch eine suffiziente Exsikkoseprophylaxe vollständig vermeidbar gewesen wären, die Exsikkose bei Patientenaufnahme jedoch nicht erkannt worden ist (Schnieders u. Kolb 2004).

Neben den beschriebenen Herausforderungen im Praxisalltag erschweren es die Komplexität und Regulation des menschlichen Flüssigkeitshaushaltes, zusätzlich abgesicherte epidemiologische Daten bezüglich Dehydration bei Hitze zu erheben. Kiesswetter et al. stufen die grundlegende Studienlage zur Flüssigkeitsversorgung älterer Menschen im deutschsprachigen Raum sowohl im Pflege- als auch Akutbereich als „insgesamt schwach“ ein. Es wird eine ausschlaggebende Dunkelziffer an zu versorgenden dehydrierten Menschen angenommen, besonders wenn diese in der eigenen Häuslichkeit leben (Kiesswetter et al. 2016).

Dass bei Temperaturschwankungen ein Anstieg in der Mortalität ersichtlich ist, wurde von Hertig und Schneider in Kapitel 3 dieses Buches bereits dargestellt. Die Dehydration wird hier im Zusammenhang mit kardiovaskulärer Morbidität und Mortalität angeführt. Darüber hinaus existieren Reviews, die sich mit Mortalitätsraten auf internistischen Normalstationen in Krankenhäusern bei Hitzewellen ausei-

nergengesetzt haben und ebenfalls einen Anstieg aufzeigen (Basu u. Samet 2002; Stafoggia et al. 2008). Auch spezifisch für das Setting Pflegeheime zeigt sich ein erhöhtes Mortalitätsrisiko bei hohen Temperaturen (Klenk et al. 2010, 251). Bei der Interpretation des Mortalitätsrisikos durch Dehydration bei Hitzewellen ist jedoch zu berücksichtigen, dass seitens eines Hausarztes der „Tod durch Hitze“ ursächlich nicht näher bezeichnet wird (Jendyk 2019).

Zusammenfassend zeigt die Mortalitätsrate in Zusammenhang mit den beschriebenen komplexen Herausforderungen des Klimawandels einen umfänglichen Handlungsbedarf. Ein Vorgehen, das die verschiedenen Sektoren des Gesundheitswesens sowie gesellschaftliche Faktoren beinhaltet, ist unabdingbar. Entscheidend ist, dass das Risiko von allen Akteuren in den Einrichtungen des Gesundheitswesens angemessen eingeschätzt werden kann. Im Folgenden werden daher zunächst die existierenden Maßnahmen hinsichtlich des erhöhten Dehydrationsrisikos bei Hitze in Deutschland beschrieben. Anschließend werden Optimierungspotenziale zur Verhinderung des Dehydrationsrisikos bei Hitze in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung vorgestellt. Es werden vor allem Menschen mit Unterstützungsbedarfen, Fachpersonen im Gesundheitswesen und Strukturen und Prozesse adressiert.

14.3 Notwendige Anpassungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung

14.3.1 Menschen mit Unterstützungsbedarfen

Für eine zielgerichtete Verhinderung eines Dehydrationsrisikos bei Hitze in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung ist es erforderlich, die vulnerable Gruppe der Menschen mit Unterstützungsbedarfen genauer zu betrachten. Eine Differenzierung verschiedener Risikofaktoren liegt nahe, um angemessen für nötige Anpassungen zu sensibilisieren. Das Bundes-



Tab. 1 Risikogruppen und Risikofaktoren für Dehydration bei Hitze (in Anlehnung an BMUB 2017)

Personengruppe	Risikofaktor Hitze
ältere Menschen	verringerte Fähigkeit des Körpers zur Hitzeregulierung und verringertes Durstgefühl
isoliert lebende Menschen	Fehlen von sozialer Kontrolle und Hilfsangeboten
pflegebedürftige Menschen	gesundheitliche Beeinträchtigungen, die Handlungsmöglichkeiten einschränken; teilweise erhöhtes Risiko durch Erkrankungen
Personen mit starkem Übergewicht	zusätzliche Belastung des Körpers bei Hitze durch das Übergewicht
Menschen mit chronischen Erkrankungen	Schwierigkeit des Körpers, extreme Situationen zusätzlich zu meistern
Menschen mit fieberhaften Erkrankungen	Hitzeabgabe des Körpers bei Hitze im Zimmer schwieriger
Menschen mit Demenz	adäquate Reaktion auf extreme Situationen nicht möglich; Aufnahme von genügend Flüssigkeit insbesondere schwierig
Menschen, die bestimmte Medikamente einnehmen	Veränderung der Wirkung und Nebenwirkung von Medikamenten (eine Anpassung kann sinnvoll sein)
Personen, die thermophysiologische Anpassungsprobleme haben	unterschiedliche Reaktion auf Hitze von einzelnen Menschen
Säuglinge und Kleinkinder	hohe Empfindlichkeit; Maßnahmen für Hitze- und UV-Schutz sind durch Aufsichtspersonen erforderlich

umweltministerium (BMUB) nennt die in Tabelle 1 dargestellten Risikogruppen bei Hitze- wellen. Zusätzlich unterscheiden Jendyk u. Maisel (2020) in der S1-Handlungsempfehlung für die hausärztliche Praxis zwischen standardmäßigen Hitzeanpassungsproblemen, wie in Tabelle 1 beschrieben, und sportinduzierten Belastungen bei Hitze.

Die Risikogruppe der älteren Menschen ist gesondert zu berücksichtigen, weil mit zunehmendem Alter der Flüssigkeitsgehalt im menschlichen Körper durch Muskelabbau, Altern der Sinneszellen, wodurch ein Durstempfinden unterdrückt wird, und zusätzliche Flüssigkeitsausscheidung aufgrund einer verringerten Konzentrationsfähigkeit der Nieren und einer verringerten Natriumrückresorption durch die Niere sowie einer Änderung der Hormonsekretion naturgegeben abnimmt (Bischoff 2012). Auch psychologische Faktoren und die individuelle Motivation von älteren Menschen müssen bezüglich des Flüssigkeitshaushaltes

Berücksichtigung finden. Eine unzureichende Flüssigkeitszufuhr kann aufgrund schlechter Trinkgewohnheiten sowie zunehmender Hilfsbedürftigkeit beim Trinken entstehen, außerdem durch Angst vor nächtlichen Toilettengängen und Inkontinenz (Flanagan et al. 2014).

Isoliert lebende Menschen nehmen ebenfalls eine gesonderte Stellung ein. Einerseits besteht die Gefahr, dass diese ihren allgemeinen Unterstützungsbedarf nicht wahrnehmen. Außerdem erfolgt in vielen Fällen eine Fehleinschätzung des eigenen Risikos, an Hitzetagen zusätzlich beeinträchtigt zu sein. Das Ergreifen von Maßnahmen korreliert mit dem eigenen Risikobewusstsein und dem Kontakt zu Personen außerhalb des Haushaltes (Augustin et al. 2011). Aus der Perspektive der Einrichtungen des Gesundheitswesens sind diese Personengruppen besonders schwierig hinsichtlich ihrer Dehydrationsrisiken einzuschätzen, da sie meist erst spät mit der behandelnden Einrichtung in Kontakt kommen. Im Fall einer Aufnahme in

eine Versorgungseinrichtung liegen außerdem keine Informationen aus Sicht der Angehörigen etc. vor, um ggf. die Dehydration schneller zu diagnostizieren. Daher gilt es, sich ebenfalls mit den Akteuren auseinanderzusetzen, welche für die Unterstützung dieser vulnerablen Personengruppe zuständig sind.

14.3.2 Fachpersonen im Gesundheitswesen

Die Fachpersonen in den Einrichtungen des Gesundheitswesens müssen für die beschriebenen Risikogruppen sensibilisiert werden. Ihr Handeln sollte an evidenzbasiertem Wissen ausgerichtet werden (Watts et al. 2019). Im Folgenden ist daher ein kurzer Überblick an Erkenntnissen aus Leitlinien verschiedener medizinischer Fachgesellschaften und weiteren Forschungsergebnissen zusammengestellt (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

1. Nach der Hitzewelle im Jahr 2003 wurde von der deutschen Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften ein Bericht bezüglich der Gefährdung durch atmosphärische Hitzewellen mit Fokus auf mangelnde Adaptation (Heat exhaustion) vorgeschädigter, oft älterer Menschen im Falle einer längerdauernden Hitzewelle erstellt. Neben ausreichender Flüssigkeitszufuhr wird eine ausreichende Natriumsalzaufnahme empfohlen, die den Wasserhaushalt aufgrund der biologischen Vorgänge reguliert (AWMF 2004).
2. Innerhalb des S3-Leitlinienprojekts zur klinischen Ernährung wird darauf hingewiesen, dass Mangelernährung und Dehydration vermieden werden sollten, um Inzidenz, Dauer und Komplikationen eines Delirs zu verringern. Ebenfalls wird eine subkutane Flüssigkeitsgabe für eine begrenzte Zeit empfohlen, um einer leichten bis mäßigen Dehydrierung entgegenzuwirken. In Notfallsituationen und bei Notwendigkeit strenger Bilanzierung wird ein peripherer oder zentralvenöser Zugang zur Flüssig-
- keits- und Elektrolytgabe als zwingend erforderlich angesehen (Volkert et al. 2013). Das Delir ist ein sogenanntes organisches Psychosyndrom (OPS). OPS sind in organischen Ursachen begründet, welche jedoch variierende psychiatrische Symptomatik zeigen. Das Delir kann somit auch durch andere Ursachen als einen Flüssigkeitsmangel bedingt sein (Dettling et al. 2016).
3. In der europäischen ESPEN-Leitlinie „Klinische Ernährung und Hydratation in der Geriatrie“ wird unter anderem geraten, ältere Menschen bei Kontakt mit dem Gesundheitssystem, bei unerwarteten Änderungen des klinischen Zustands und in regelmäßigen Abständen, wenn sie unterernährt sind oder das Risiko einer Unterernährung besteht, auf eine zu geringe Flüssigkeitsaufnahme zu untersuchen. Älteren Frauen sollten mindestens 1,6 l und Männern 2,0 l Getränke pro Tag angeboten werden. Ausnahmen müssten in klinischen Erkrankungen begründet sein (Volkert et al. 2019). Hierbei sollte über die Leitlinie hinausgehend Sorge dafür getragen werden, dass das Angebotene auch getrunken wird.
4. Ein erhöhter Flüssigkeitsverlust kann aufgrund von Diuretika und der Nebenwirkungen weiterer Medikamente, z.B. Antidepressiva (Schlereth et al. 2009) oder ACE-Hemmern, die im Alter häufig eingenommen werden, erfolgen (Kälin et al. 2007). Diese Erkenntnis sollte im Pflegealltag berücksichtigt werden, sodass angemessene Maßnahmen eingeleitet werden können.
5. Die Körpertemperatur wird durch Körperhaltung (stehen, sitzen, liegen), Bewegung, metabolische Prozesse und Kleidung beeinflusst (BAuA 2018). Die wahrgenommene Temperatur und das damit in Verbindung stehende Dehydrationsrisiko eines zu unterstützenden Menschen können stark von der subjektiven Wahrnehmung einer Fachkraft abweichen. Wenn die Temperatur z.B. über eine existierende Klimaanlage reguliert wird, ist es möglich, dass in Ein-



richtungen der Gesundheitsversorgung die Temperaturen an heißen Tagen zu niedrig eingestellt und von den zu unterstützenden Menschen als kühl oder kalt empfunden werden. Akzeptierte Tagestemperaturen können zwischen 23,8°C und 29°C liegen (Azizpour et al. 2011). Die individuelle „Wohlfühltemperatur“ sollte im Austausch mit der zu pflegenden Person erhoben und bei der Raumtemperaturregulation berücksichtigt werden.

6. Zur Vorbereitung auf Hitzeereignisse werden sehr allgemein die „Anpassung und Überwachung des Trinkverhaltens, die Anpassung der Ernährung, die Anpassung der Kleidung, z.B. bei pflegebedürftigen Personen, die Anpassung der Medikation, die tageszeitliche Anpassung der Aufenthalte an beschatteten Plätzen im Freien bzw. in kühlen Räumen, die Anpassung der Freizeitaktivitäten“ empfohlen (BMUB 2017). In pflegerischer und ärztlicher Kooperation soll eine Risikoabschätzung der pflege- und behandlungsbedürftigen Menschen erfolgen, um präventive Maßnahmen abzuleiten (Herrmann et al. 2019, 496).

Damit zielgerichtetes Handeln sowie eine interdisziplinäre und intersektorale Zusammenarbeit des Fachpersonals reibungslos verlaufen können, sind Schulungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung hinsichtlich des Klimawandels und dessen Folgen für die Gesundheit wichtig (Herrmann et al. 2019, 496). Erste Fortbildungen über Risiken verbunden mit den klimatischen Veränderungen sind bereits mit Schwerpunkt auf das ambulante Setting entwickelt worden (Schoierer et al. 2019). Auch wurde an der Charité in Berlin bundesweit die erste Professur zu Folgen des Klimawandels für Gesundheit eingerichtet (Berlin 17.06.2020). An der Hochschule Fulda beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe mit „Klimawandel und Gesundheit“ (Hochschule Fulda 12.10.2020). Auch diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

14.3.3 Prozessuale und strukturelle Ebene

Verständnis für notwendige Anpassungen und Handeln auf der medizinischen und pflegerischen Ebene müssen durch strukturelle Anpassungen ergänzt werden. Es ist empfehlenswert, Hitzeaktionspläne mit pflegerischen und medizinischen Handlungsempfehlungen beschleunigt umzusetzen (Eckert 2019).

Ab dem Jahr 2008 wurden von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) Leitfäden zur Erstellung von Hitzeaktionsplänen veröffentlicht (McGregor et al. 2015).

Das BMUB legte auf dieser Grundlage 2017 Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit in Deutschland fest. Sie beinhalten Sofortmaßnahmen und langfristige Maßnahmen, die bei Neuplanungen zu berücksichtigen und von Einrichtungen der Gesundheitsversorgung anzuwenden sind:

Zur Reduzierung der Hitze in Innenräumen sollen Fenster verdunkelt, kühle Räume aufgesucht und ein Lüften der Räume in die Nacht verlagert werden. Wärmeabgebende Geräte sollen nicht verwendet werden. Mittelfristig sollen Schutzmaßnahmen der Fenster angebaut, Wände und Dächer isoliert und Dächer und Fassaden begrünt werden. Bei Renovierung von Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen sollte der Einbau von Klimaanlage in Betracht gezogen werden (BMUB 2017). Hierbei sind bestimmte hygienische Vorgaben einzuhalten (Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V. 2018). Ebenfalls wird für Pflegeheime und Krankenhäuser empfohlen, mindestens einen Gemeinschaftsraum mit einer Temperatur von 25°C vorzuhalten (Herrmann et al. 2019, 496).

Der Gemeinschaftsraum wird neben den zu pflegenden und/oder zu behandelnden Menschen auch von Mitarbeitenden der Einrichtungen betreten und genutzt. Im Hinblick auf strukturelle Anpassungen müssen auch die Mitarbeitenden vor zu hohen Temperaturen und Risiken für die Gesundheit geschützt werden. Bei steigenden Raumtemperaturen werden

schrittweise Anpassungen empfohlen: Bei mehr als 26°C ist entweder das Einrichten von Vordächern oder eine Installation von reflektierenden Vorrichtungen an den Fenstern, der Einsatz von Sonnenschutzverglasungen und Bepflanzungen vor Lichteinfall-Bereichen vorgesehen. Übersteigt eine Raumtemperatur 30°C werden Lüftungseinrichtungen und eine Lockerung der Bekleidungsregeln zur Entlastung der Mitarbeitenden empfohlen. Bei einem Temperaturanstieg auf über 35°C ist ein Raum nicht mehr als Arbeitsraum zu nutzen (BAuA 2018).

Darüber hinaus haben Untersuchungen einen erhöhten Betreuungs- und damit Personalbedarf in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung bei Hitzewellen aufgezeigt, sodass eine intensivere Betreuung gewährleistet sein muss (Capellaro u. Sturm 2015b). Unter anderem entsteht in Hitzeperioden eine zusätzliche Belastung für Pflegeheime, weil Dehydration, Hypotonie oder hitzebedingte Beinahe-Synkope aufgrund der Neufassung der abgestuften Notaufnahmekriterien kein Aufnahmegrund in ein Krankenhaus darstellen. Deshalb werden durch Herrmann et al. (2019) Standardanweisungen in Notaufnahmen empfohlen, welche den Umgang mit hitzegefährdeten und hitzgeschädigten Personen regeln, da die gesetzlichen Regelungen als nicht ausreichend beschrieben werden (Herrmann et al. 2019).

Dass die bislang vorgestellten Anpassungen nicht getrennt voneinander betrachtet und in der Praxis umgesetzt werden sollten, spiegelt sich auch im bereits entwickelten **Qualitätssiegel** klimafreundliche Pflege wider. Das Siegel wird an ambulante Pflegedienste vergeben, um nachzuweisen, dass diese Schulung und organisatorische Maßnahmen umsetzen, um Gesundheitsgefährdung durch hohe Umgebungstemperaturen einzuschränken (Universität Kassel 2008–2013). Doch um ein Qualitätssiegel mit ähnlicher Aussagekraft an weitere Einrichtungen der deutschen Gesundheitsversorgung vergeben zu können, sollten unter anderem nachfolgend benannte Optimierungsbedarfe behoben werden.

14.3.4 Optimierungsbedarfe

Um das Dehydrationsrisiko in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung bei Hitze zu verringern, wird in der ESPEN-Leitlinie zur Klinischen Ernährung und Hydratation in der Geriatrie eine Multikomponenten-Strategie der Einrichtungen der Gesundheitsversorgung angeraten. Getränke sollten sowohl verfügbar als auch abwechslungsreich sein und häufig angeboten werden. Personal sollte sensibilisiert werden und beim Trinken unterstützend tätig werden. Zusätzlich muss ein schneller und bedarfsgerechtes Aufsuchen der Toilette gewährleistet werden (Volkert et al. 2019). In Ergänzung ist auf deutliche Optimierungspotenziale wie Prävention, intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit sowie auf Forschung und Bildung und den damit verbundenen Wissenstransfer in Handlungen der Akteure hinzuweisen.

Prävention

Wissenschaftliche Evaluationen von Hitzewarnsystemen, die nach der Hitzewelle 2003 in allen Bundesländern in Deutschland implementiert wurden, zeigen, dass für etwa die Hälfte aller befragten Einrichtungen eine Hitzewarnung keine Rolle spielte, hitzebetreffende Maßnahmen einzuleiten. Nur teilweise führe eine Hitzewarnung zu verstärkten Maßnahmen und deren Überprüfung. Dazu zählten die Erhöhung der Flüssigkeitszufuhr, die Abdunkelung von Räumen, ein angepasstes Lüftungsverhalten sowie der Einsatz von Ventilatoren. Aus diesen Erkenntnissen ist zu schließen, dass die Relevanz von Hitzewarnungen mehr herausgestellt werden muss, damit Hitzeschutzmaßnahmen durchgeführt werden (Augustin et al. 2011, 183).

In Ergänzung dieser Ergebnisse wurden im Jahr 2015 Wetterereignis-Informations- bzw. Frühwarnsysteme hinsichtlich ihrer Bekanntheit sowie ihrer Nutzung durch die Bevölke-



rung evaluiert. Auf Basis der erhobenen Ergebnisse wurden Handlungsempfehlungen eines angepassten Kommunikationskonzepts entwickelt. Es beinhaltet unter anderem, dass in die Schutzmöglichkeiten individuelle Lebensumstände einbezogen werden und die Wirksamkeit von Maßnahmen entlang der evidenzbasierten Information von Patient:innen in den Mittelpunkt gerückt werden sollten. Ebenfalls wird empfohlen, statt der gesundheitlichen Gefährdungen Aspekte des durch die Maßnahmen bewirkten Wohlbefindens zu betonen und wiederholend auf bestehende Risiken hinzuweisen (Capellaro u. Sturm 2015a).

In Studien aus den USA werden Public Health Nurses als Möglichkeit genannt, um den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit präventiv zu begegnen. Eine Umsetzung des Konzeptes ist aufgrund von Personalmangel und limitierten Ressourcen in Deutschland bisher schwierig (Polivka et al. 2012). Allerdings wurde bereits gezeigt, dass sie eine große Rolle im öffentlichen Gesundheitswesen spielen und durch ihre Arbeit zur Verringerung der gesundheitlichen Folgen des Klimawandels beitragen (Leffers u. Butterfield 2018).

Intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit

Um eine allumfassende Prävention zu implementieren, ist eine intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit notwendig. Wolff et al. berichten von vermehrten (Wieder-)Aufnahmen in Krankenhäusern aus anderen Einrichtungen der Versorgung aufgrund von Dehydration. Untersucht wurden 21.610 Aufnahmen in Krankenhäuser. Aufnahmen aus Pflegeheimen zeigten ein erhöhtes Risiko für eine Hypernatriämie (Odds Ratio: 10,5; 95% CI 8,43–13,0). Weiterhin geht diese mit einer erhöhten Mortalität der aus dem Pflegeheim eingelieferten Personen einher (adjusted Odds Ratio: 1,97; 95% CI 1,59–2,46) (Wolff et al. 2015).

Prozesse in den Einrichtungen müssen verbessert werden, um solche Schnittstellenprobleme zu verringern. Dabei sind unweigerlich alle beteiligten Akteure einzubinden.

Die zu Versorgenden können mehrere Einrichtungen des Gesundheitswesens nacheinander durchlaufen. Auftretende Symptome pflegebedürftiger und medizinisch zu behandelnder Personen können daher durch settingübergreifende Faktoren bedingt sein. Um den krankheitsbedingten Anforderungen gerecht zu werden und eine optimale Versorgung zu gewährleisten, ist eine verstärkte intersektorale Zusammenarbeit notwendig. Dies gilt besonders in Hitzeperioden, da so das Mortalitätsgeschehen gemindert werden kann.

Eine intersektorale und multiprofessionelle Zusammenarbeit sollte sich jedoch nicht nur auf Deutschland beziehen. Seit Jahren wird bei Hitzewellen das (allgemeine) Mortalitätsgeschehen seitens vieler europäischer Länder im Rahmen des europäischen EuroMOMO-Projektes (European monitoring of excess mortality for public health action) zusammengeführt. Deutschland beteiligt sich bislang nicht bundesweit an diesem Projekt (an der Heiden et al. 2019). Die Ziele des Projektes umfassen die Bewertung von Daten und die Ableitung standardisierter Aussagen, um auf grenzüberschreitende Bedrohungen aufmerksam machen zu können. Weiterhin sollen geeignete Innovationen entwickelt werden (Europäische Kommission 2014).

Forschung, Bildung und Transfer in die Praxis

Insgesamt zeigt die Literaturlage, dass der Klimawandel bezogen auf den Pflegesektor in der Forschung bislang ein unterrepräsentiertes Thema darstellt. Um in Zukunft auf starke Temperaturschwankungen angemessen reagieren zu können, wurde bereits vorgeschlagen, eine Forschungsdisziplin „Klimagerontologie“ zu bilden, um besonders in Bezug auf die alternde Bevölkerung Handlungsvorschläge zu

erarbeiten. Außerdem wird eine weitreichende intersektorale Forschung zwischen Pflegeheimen und Krankenhäusern bezüglich Dehydratation und Hypernatriämie angeregt (Wolff et al. 2015).

Es ist entscheidend, Forschungsergebnisse sowie evidenzbasierte Erkenntnisse mit allen Akteuren zu teilen. Maßnahmenpläne müssen dann multiprofessionell (bspw. Pflegefachpersonen, Ärzt:innen, Therapeut:innen) erarbeitet werden (Schierack 2020). Dies kann z.B. über weitere Angebote der Fort- und Weiterbildung erfolgen (Charité Universitätsmedizin Berlin 2020). Zusätzlich erscheint es ratsam, das Thema Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Gesundheit in allen Curricula gesundheits- und pflegebezogener Studiengänge aufzunehmen, um frühzeitig spezifische Handlungen, Bewusstsein und Risikoeinschätzungen hinsichtlich Hitze und Dehydrationsrisiken zu fördern (Maxwell u. Blashki 2016). Unter anderem in Kapitel 4 dieses Buches wurde ein Weiterbildungsbedarf im Bereich der Medikamentenanpassungen hervorgehoben und auch Herrmann et al. führen eine stärkere Berücksichtigung an (Herrmann et al. 2019).

Der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis ist unabdingbar. Dieser wird sehr deutlich seitens der Fachgesellschaft thematisiert. Die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) formulierte bereits 2004 zur Gefährdung durch atmosphärische Hitzewellen:

„Es handelt sich bei dem Problem der Gesundheitsgefährdung durch Hitze nicht um unerforschte oder neue medizinische Felder. Die Kenntnisse zur Störung des Flüssigkeitshaushaltes liegen umfangreich vor und müssen nur zur Anwendung kommen.“ (AWMF 2004).

Im Jahr 2019 konkretisierten die Forschenden der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, dass einerseits weiterer Forschungsbedarf besteht, jedoch andererseits das bestehende Wissen zu politischem Handeln führen muss (Courvoisier 2019).

14.4 Fazit

Die Darstellung notwendiger Anpassungen in Anbetracht des Klimawandels und des damit verbundenen Dehydrationsrisikos zeigt, dass Einrichtungen der Gesundheitsversorgung in Deutschland noch oft unstrukturiert in Hitze-Akutsituationen agieren, obwohl diese abzu-sehen sind. Frühwarnsysteme und Prävention werden kaum eingesetzt. Auch interdisziplinäre und intersektorale Zusammenarbeit sowie Wechselwirkungen werden wenig berücksichtigt, obgleich verschiedene wissenschaftliche Erkenntnisse bereits vorliegen. Notwendige Anpassungen müssen daher vor dem Hintergrund aller beteiligten Akteure angegangen werden. So ist es erstrebenswert, dass einer erhöhten Raumtemperatur in naher Zukunft einerseits dadurch begegnet werden kann, dass die technische und bauliche Ausstattung der Einrichtung eine Temperaturmilderung erzielt. Andererseits muss den handelnden Fachpersonen jedoch bewusst sein, dass die zu versorgenden Menschen allgemein eine vulnerable Gruppe bezüglich Hitze darstellen, jedoch Temperaturempfindungen und Risikofaktoren auch individuell unterschiedlich ausgeprägt sein können. Wirkweisen von Medikamenten können beeinträchtigt sein, deren Folgen aber ggf. erst zeitversetzt erkennbar werden. Gesondert muss ein auftretendes Delir vielfältig analysiert werden, um die Ursache(n) festzustellen. Außerdem sollte die Bedeutung präventiver Pflegeberufe wie bspw. Public Health Nurses in der wohnortnahen Einschätzung und Entwicklung von angemessenen Maßnahmen aufgrund von Auswirkungen des Klimawandels diskutiert werden. Abschließend ist anzuerkennen, dass alle strukturellen und extrinsisch motivierten Anpassungen, um Dehydrationsrisiken bei Hitzewellen zu verringern, nur von Erfolg sind, wenn auch die zu versorgende Person ihr bestehendes Risiko versteht und förderliche Maßnahmen umsetzt. Um dieses Ziel zu erreichen, benötigt es gezielte Kommunikationsformen und -mittel sowie gesellschaftliche Unterstüt-



zung, um eine geeignete Klimakompetenz entwickeln zu können.

Literatur

- Achenbach RK (2004) Hyperhidrosis. Physiologisches und krankhaftes Schwitzen in Diagnose und Therapie. Steinkopff Heidelberg
- an der Heiden M, Buchholz U, Uphoff H (2019) Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle infolge der Hitzewelle 2018
- Augustin J, Paesel HK, Mücke H-G, Grams H (2011) Anpassung an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. *Präv Gesundheitsf* 6, 179–184
- AWMF (2004) Gefährdung durch atmosphärische Hitzewellen. *Health Problems with Extreme Heat*
- Azizpour F, Moghimi S, Lim C, Mat S, Zaharim A, Sopian K (2011) Thermal Comfort Assessment in Large Scale Hospital: Case Study in Malaysia. In: Mastorakis NE (Hrsg.) *Recent researches in geography, geology, energy, environment and biomedicine*, 171–174. WSEAS
- Bak A, Tsiami A, Greene C (2017) Methods of Assessment of Hydration Status and their Usefulness in Detecting Dehydration in the Elderly. *Curr Res Nutr Food Sci* 5, 43–54
- Basu R, Samet JM (2002) Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic reviews* 24, 190–202
- BAuA (2018) Technischer Arbeitsschutz (inkl. Technische Regeln) – ASR A3.5 Raumtemperatur. Stand: 7. Oktober 2020.000Z. URL: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-5.html> (abgerufen am: 7. Oktober 2020.617Z)
- Bein T, Karagiannidis C, Gründling M, Quintel M (2020) Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch Klimawandel und globale Erderwärmung. *Der Anaesthetist*
- Berlin Charité Universitätsmedizin (17.06.2020) Meldung. Stand: 17. Juni 2020. URL: https://www.charite.de/forschung/meldungen/meldung/artikel/detail/erste_professur_fuer_klimawandel_und_gesundheit/ (abgerufen am: 30. September 2020)
- Bischoff S (2012) Flüssigkeitsversorgung von Senioren – Eine kritische Bestandsaufnahme aktuellen Wissens und etablierter Empfehlungen (Teil 1). *Aktuel Ernährungsmed* 37, 81–90
- BMUB (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit
- Brennan M, O’Keeffe ST, Mulkerrin EC (2019) Dehydration and renal failure in older persons during heatwaves-predictable, hard to identify but preventable? *Age and ageing* 48, 615–618
- Bunker A, Wildenhain J, Vandenbergh A, Henschke N, Rocklöv J, Hajat S, Sauerborn R (2016) Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine* 6, 258–268
- Bunn D, Jimoh F, Wilsher SH, Hooper L (2015) Increasing fluid intake and reducing dehydration risk in older people living in long-term care: a systematic review. *Journal of the American Medical Directors Association* 16, 101–113
- Bunn DK, Hooper L (2019) Signs and Symptoms of Low-Intake Dehydration Do Not Work in Older Care Home Residents-DRIE Diagnostic Accuracy Study. *Journal of the American Medical Directors Association* 20, 963–970
- Bunz M, Mücke H-G (2017) Klimawandel – physische und psychische Folgen. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 60, 632–639
- Capellaro M, Sturm D (2015a) Abschlussbericht: Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit, Anpassung an den Klimawandel: Evaluation bestehender nationaler Informationssysteme (UV-Index, Hitzewarnsystem, Pollenflug- und Ozonvorhersage) aus gesundheitlicher Sicht – Wie erreichen wir die empfindlichen Bevölkerungsgruppe? Band 1: Anpassung an den Klimawandel: Evaluation bestehender nationaler Informationssysteme (UV-Index, Hitzewarnsystem, Pollenflug- und Ozonvorhersage) aus gesundheitlicher Sicht – Wie erreichen wir die empfindlichen Bevölkerungsgruppen?
- Capellaro M, Sturm D (2015b) Evaluation von Informationssystemen zu Klimawandel und Gesundheit Band 2: Anpassung an den Klimawandel: Strategie für die Versorgung bei Extremwetterereignissen. Band 2: Anpassung an den Klimawandel: Strategie für die Versorgung bei Extremwetterereignissen
- Charité Universitätsmedizin Berlin (2020) Klimawandel und Gesundheit. Stand: 23. November 2020. URL: <http://www.klimawandelundgesundheit.org/startseite.html> (abgerufen am: 23. November 2020)
- Courvoisier TJ (2019) The imperative of climate action to protect human health in Europe. Opportunities for adaptation to reduce the impacts, and for mitigation to capitalise on the benefits of decarbonisation. EASAC Secretariat, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, German National Academy of Sciences Halle (Saale)
- Dettling A, Skopp G, Hallner H-T (2016) Dehydratation und Alkoholwirkung als kombinierte Ursachen eines akuten Delirs. *Rechtsmedizin* 26, 436–439
- Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH) (2018) Luftqualität im OP-Saal: Wundinfektionen, RLT-Anlagen und Disziplin Bonn
- Deutschländer T, Mächel H (2017) Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöllner S (Hrsg.) *Klimawandel in Deutschland*. Springer Berlin Heidelberg Berlin, Heidelberg
- Eckert N (2019) Klimawandel: Ernstfall für die Gesundheit. *Deutsches Ärzteblatt* 116
- Flanagan L, Roe B, Jack B, Shaw C, Williams KS, Chung A, Barrett J (2014) Factors with the management of incontinence and promotion of continence in older people in care homes. *Journal of advanced nursing* 70, 476–496
- Gallelli L, Colosimo M, Tolotta GA, Falcone D, Luberto L, Curto LS, Rende P, Mazzei F, Marigliano NM, Sarro G de, Cucchiara S (2010) Prospective randomized double-blind trial of racecadotril compared with loperamide in elderly people with gastroenteritis living in nursing homes. *European journal of clinical pharmacology* 66, 137–144

- Herrmann A, Haefeli WE, Lindemann U, Rapp K, Roigk P, Becker C (2019) Epidemiologie und Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden älterer Menschen. *Z Gerontol Geriat* 52, 487–502
- Hochschule Fulda (12.10.2020) Klimawandel und Gesundheit. Stand: 12. Oktober 2020. URL: <https://www.hs-fulda.de/pflege-und-gesundheit/forschung/forschungsschwerpunkte/klimawandel-und-gesundheit> (abgerufen am: 12. Oktober 2020)
- Hooper L, Abdelhamid A, Ali A, Bunn DK, Jennings A, John WG, Kerry S, Lindner G, Pfortmueller CA, Sjöstrand F, Walsh NP, Fairweather-Tait SJ, Potter JF, Hunter PR, Shepstone L (2015) Diagnostic accuracy of calculated serum osmolality to predict dehydration in older people: adding value to pathology laboratory reports. *BMJ open* 5, e008846
- Hsiao C-J, Hing E (2014) Emergency department visits and resulting hospitalizations by elderly nursing home residents, 2001–2008. *Research on aging* 36, 207–227
- Jendritzky G (2007) Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II, Geographisches Institut
- Jendyk R (2019) Angemeldetes Leitlinienvorhaben. Registernummer 053 – 052. Hitzebedingte Gesundheitsstörungen in der hausärztlichen Praxis
- Jendyk R, Maisel P (2020) Hitzebedingte Gesundheitsstörung in der hausärztlichen Praxis. DEGAM S1-Handlungsempfehlung
- Kälin P, Kondo Oestreicher M, Pfluger T (2007) Sommerliche Hitze-wellen: die Medikation von Risikopersonen überprüfen. *Swiss Med Forum* 7, 644–648
- Kaspar F, Mächel H (2017) Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg.) *Klimawandel in Deutschland*, 17–26. Springer Berlin Heidelberg Berlin, Heidelberg
- Kiesswetter E, Sieber C, Volkert D (2016) Ernährungssituation älterer Menschen im deutschsprachigen Raum. *Aktuel Ernährungsmed* 41, 362–369
- Klenk J, Becker C, Rapp K (2010) Heat-related mortality in residents of nursing homes. *Age and ageing* 39, 245–252
- Landsberg HE (2011) *The urban climate*. Academic Press New York
- Langer G, Fink A (2014) Nutritional interventions for preventing and treating pressure ulcers. *The Cochrane database of systematic reviews*, CD003216
- Leffers J, Butterfield P (2018) Nurses play essential roles in reducing health problems due to climate change. *Nursing outlook* 66, 210–213
- Lenssen R, Liekweg A (2016) Strategien der altersadäquaten Pharmakotherapie bei Niereninsuffizienz. *Z Gerontol Geriat* 49, 494–499
- Little MO (2013) Nutrition and skin ulcers. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care* 16, 39–49
- Löffler G, Petrides PE (1998) *Biochemie und Pathobiochemie*. Springer Berlin Heidelberg Berlin, Heidelberg, s.l.
- Maxwell J, Blashki G (2016) Teaching About Climate Change in Medical Education: An Opportunity. *Journal of public health research* 5, 673
- McGregor GR, Bessemoulin P, Ebi KL, Menne B (Hrsg.) (2015) *Heatwaves and health. Guidance on warning-system develop-ment*. World Meteorological Organization; World Health Organization Geneva
- Medizinische Fachredaktion Psyhyrembel (2020) *Lexikon. Dehydratation*. URL: <https://www.psyhyrembel.de/Dehydratation/K05L9> (abgerufen am: 19. Oktober 2020)
- Nakagawa N, Saito Y, Sasaki M, Tsuda Y, Mochizuki H, Takahashi H (2014) Comparison of clinical profile in elderly patients with nursing and healthcare-associated pneumonia, and those with community-acquired pneumonia. *Geriatrics & gerontology international* 14, 362–371
- Nash L, Bergin N (2018) Nutritional strategies to reduce falls risk in older people. *Nursing older people* 30, 20–24
- Polivka BJ, Chaudry RV, Mac Crawford J (2012) Public health nurses' knowledge and attitudes regarding climate change. *Environmental Health Perspectives* 120, 321–325
- Schierack S (2020) Mangelernährung und Dehydratation im Alter. *Heilberufe* 72, 36–37
- Schnieders M, Kolb G (2004) Exsikkose im Alter. *Medizinische Klinik (Munich, Germany : 1983)* 99, 453–60; quiz 461
- Schoierer J, Mertes H, Wershofen B, Böse-O'Reilly S (2019) Fortbildungsangebote zu Klimawandel, Hitze und Gesundheit für medizinische Fachangestellte und Pflegefachkräfte in der ambulanten Versorgung. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 62, 620–628
- Second Programme of Community action in the Field of Health 2008–2013 (2014)
- Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, Caranci N, de' Donato F, Demaria M, Michelozzi P, Miglio R, Rognoni M, Russo A, Perrucci CA (2008) Factors affecting in-hospital heat-related mortality: a multi-city case-crossover analysis. *Journal of epidemiology and community health* 62, 209–215
- Suchner U, Reudelsterz C, Gog C (2018) „Terminale“ Dehydratation, Teil 2: Medizinische Indikationsstellung und therapeutisches Vorgehen. *Der Anaesthetist* 67, 879–892
- Universität Kassel (2008–2013) Qualitätssiegel „Klimaangepasste Pflege“
- van Leen MW, Schols JM, Hovius SE, Halfens RJ (2017) A Secondary Analysis of Longitudinal Prevalence Data to Determine the Use of Pressure Ulcer Preventive Measures in Dutch Nursing Homes, 2005–2014. *Ostomy/wound management* 63, 10–20
- Varlemann H, Feucht I, Frank N (2015) Diabetes mellitus und Ernährung im Alter: Ein Geben und Nehmen. *Der Diabetologe* 11, 194–201
- Volkert D, Bauer JM, Frühwald T, Gehrke I, Lechleitner M, Lenzen-Großimlinghaus R, Wirth R, Sieber C, DGEM Steering Committee (2013) Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM) in Zusammenarbeit mit der GESKES, der AKE und der DGGKlinische Ernährung in der Geriatrie – Teil des laufenden S3-Leitlinienprojekts *Klinische Ernährung*
- Volkert D, Beck AM, Cederholm T, Cruz-Jentoft A, Goisser S, Hooper L, Kiesswetter E, Maggio M, Raynaud-Simon A, Sieber CC, Sobotka L, van Asselt D, Wirth R, Bischoff SC (2019) ESPEN guideline on clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clinical Nutrition* 38, 10–47
- Walker J (2015) Diagnosis and management of patients with hypercalcaemia. *Nursing older people* 27, 22–26



Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, Byass P, Cai W, Campbell-Lendrum D, Capstick S, Chambers J, Dalin C, Daly M, Dasandi N, Davies M, Drummond P, Dubrow R, Ebi KL, Eckelman M, Ekins P, Escobar LE, Montoya LF, Georgeson L, Graham H, Haggart P, Hamilton I, Hartinger S, Hess J, Kelman I, Kiesewetter G, Kjellstrom T, Kniveton D, Lemke B, Liu Y, Lott M, Lowe R, Sewe MO, Martinez-Urtaza J, Maslin M, McAllister L, McGushin A, Mikhaylov SJ, Milner J, Moradi-Lakeh M, Morrissey K, Murray K, Munzert S, Nilsson M, Neville T, Oreszczyn T, Owfi F, Pearman O, Pencheon D, Phung D, Pye S, Quinn R, Rabbaniha M, Robinson E, Rocklöv J, Semenza JC, Sherman J, Shumake-Guillemot J, Tabatabaei M, Taylor J, Trinanes J, Wilkinson P, Costello A, Gong P, Montgomery H (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* 394, 1836–1878

Welzer H, Kolland F (2014) Altern und Klimawandel: Auswirkungen auf die gesundheitliche Lebensqualität. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 47, 460–461

Wiffen PJ, Derry S, Moore RA (2014) Impact of morphine, fentanyl, oxycodone or codeine on patient consciousness, appetite and thirst when used to treat cancer pain. *The Cochrane database of systematic reviews*, CD011056

Wirth R (2020) Dehydratation verstehen – wie viel Wasser braucht der ältere Mensch? *Aktuell Ernährungsmed* 45, 286–291

Wit MAM, Bos-Schaap AJCM, Umans VAWM (2017) Care for Vulnerable Elderly in Cardiology: A Program for Daily Practice. *Critical pathways in cardiology* 16, 22–26

Wolff A, Stuckler D, McKee M (2015) Are patients admitted to hospitals from care homes dehydrated? A retrospective analysis of hypernatraemia and in-hospital mortality. *Journal of the Royal Society of Medicine* 108, 259–265

Wysocki A, Kane RL, Golberstein E, Dowd B, Lum T, Shippee T (2014) The association between long-term care setting and potentially preventable hospitalizations among older dual eligibles. *Health services research* 49, 778–797

Zarowitz BJ, Tangalos E, Lefkowitz A, Bussey H, Deitelzweig S, Nutescu E, O’Shea T, Resnick B, Wheeler A (2010) Thrombotic risk and immobility in residents of long-term care facilities. *Journal of the American Medical Directors Association* 11, 211–221



Stephanie Krebs, M.Sc.

Stephanie Krebs ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Dozentin an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften. Auf der Grundlage ihres Studiums in Biologie, Germanistik und Wirtschaftswissenschaften liegt ihr Forschungsschwerpunkt im interdisziplinären und systemischen Verständnis des Gesundheitswesens.



Anna Larina Lietz, M.Sc.

Anna Larina Lietz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt im pflegewissenschaftlichen Bereich. Thematisch beschäftigte sie sich beispielsweise bereits mit dem Gesundheitsverhalten Studierender akademischer Gesundheitsberufe, einem elektronischen Personalmanagementverfahren in der Pflege und einem pflegeinternen Delegationsmodell.



Prof. Dr. rer. medic. habil. Martina Hasseler

Professorin für Klinische Pflege mit Schwerpunkten in Pflegewissenschaft, Gesundheitswissenschaft, Rehabilitation an der Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fakultät Gesundheitswesen, Wolfsburg. PD an der Fakultät I der CvO-Universität Oldenburg. Schwerpunkte in der Forschung zu gesundheitlicher und pflegerischer Versorgung von vulnerablen Bevölkerungsgruppen (z.B. ältere Menschen, Menschen mit Beeinträchtigungen, Prävention und Gesundheitsförderung sowie Rehabilitation in der Pflege); Rahmenbedingungen gesundheitlicher und pflegerischer Versorgung (z.B. Koordination und integrierte Versorgung, interdisziplinäre Gesundheitsversorgung, Digitalisierung in Pflege und Gesundheit); Qualität in Pflege und Gesundheit.

15 Klimasensible Stadtplanung und Stadtentwicklung

Judith Schröder und Susanne Moebus

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-15, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Der vorliegende Beitrag spürt der Frage nach, wie sich Städte durch innovative Stadtplanung besser an den Klimawandel anpassen und wie Stadtplanung Gesundheitsressourcen stärken und -risiken mindern kann. Ausgehend von der industriellen Revolution als gemeinsamer historischer Wurzel für bestehende Herausforderungen durch Klimawandel und Verstädterung und deren Implikationen für Gesundheit, wird für einen Paradigmenwechsel plädiert, der Gesundheit nicht nur unter Gesichtspunkten der Krankheitsbekämpfung begreift, sondern auf die salutogenen Faktoren von Stadtentwicklung unter der notwendigen Berücksichtigung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen fokussiert.

This article explores how cities can better adapt to climate change and how cities can better address health risks and chances through innovative urban planning. Starting from the industrial revolution as a common historical root for existing challenges of climate change and urbanization and their implications for health, the paper argues for a paradigm shift that understands health not only from the perspective of disease control but also from the salutogenic factors of urban development, taking into account the need for climate protection and adaptation measures.

15.1 Gesundheit und die Megatrends des 21. Jahrhunderts

15.1.1 Der historische Zusammenhang zwischen Stadt, Gesundheit und Klimawandel

Nicht viele Themen haben eine vergleichbare Zunahme an politischer Relevanz zu verzeichnen wie der anthropogene Klimawandel. Eingebettet in die größere Debatte der *ökologischen Krise* in Gestalt von Biodiversitätsverlust, Ressourcenknappheit, Erschöpfung der ökologischen Tragekapazität, zählt die Frage nach dem klimagerechten Umbau unserer Gesellschaft zu den Megatrends des 21. Jahrhunderts. Seit der Veröffentlichung der vom Club of Rome in Auftrag gegebenen Studie *The Limits to Growth* (Meadows et al. 1972) ist die Frage zum Umgang mit Natur angesichts der Erkenntnis der Endlichkeit natürlicher Ressourcen zunehmend in den Gesichtskreis gesellschaftspolitischer Wahrnehmung gerückt. Angesichts der für das menschliche Überleben notwendigen Bedin-

gung des permanenten Austausches und des Stoffwechsels mit Natur, ist es nur verständlich, dass dieser Problematik ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit zukommt und sich zahlreiche gesellschaftliche Gruppen der Thematik annehmen. Denn die wohl einschneidendste Erkenntnis hinsichtlich der Ursachenforschung ist, dass Haupttreiber und -verursacher des Klimawandels der Mensch selbst ist.

Zwar fußen menschliche Existenz und gesellschaftliche Entwicklung seit jeher auf Austauschprozessen mit Natur, aber diese Prozesse haben seit der industriellen Revolution eine bis dahin ungekannte Dynamik in Form einer sich scheinbar perpetuierenden Beherrschung der Natur durch technischen Fortschritt als wichtigstem Motor ökonomischen Wachstums gewonnen. Vor allem die Extraktion und Nutzung fossiler Energieressourcen wie Kohle, Erdöl und Erdgas kann als Wendepunkt gesellschaftlicher Entwicklung betrachtet werden, da es damit gelang, den benötigten Energiebedarf von temporär kurzweiliger biologischer Produktivität, z.B. in Form von nur langsam nachwachsenden Rohstoffen wie Holz (Rosenbaum u. Mautz 2011: 399), abzukoppeln und so die Produktivität von Arbeit um ein Vielfaches zu steigern. Durch Extrahieren und Verbrennen fossiler Energieträger wurden geologische und ökologische Erdveränderungen sowie exponentielle Wachstumsprozesse in Gestalt von Bevölkerungs- und Wohlstandsexplosionen in Gang gesetzt. Oder anders ausgedrückt: *„Der Beginn des fossilen Energiezeitalters war ausschlaggebend für die Akkumulationsdynamik und den Globalisierungsprozess kapitalistischer Gesellschaften“* (Kautnek 2012: 8). Trotz der Innovationskraft und permanenten Steigerung der Naturbeherrschung während der letzten 200 Jahre scheinen die Grenzen dieser Entwicklungen überschritten. Seit einigen Jahrzehnten sind biophysikalische Nebenwirkungen des fossilen Energiesystems zu beobachten, die nachhaltigen Einfluss auf das Erdklima ausüben (IPCC 2014).

Neben den wirtschaftlichen Veränderungsprozessen verschob sich mit Beginn der Indus-

trialisierung auch das räumliche Verhältnis von Stadt und Land. Die Zentralisierung wirtschaftlicher Produktion in Fabriken hatte zur Folge, dass große Bevölkerungsteile vom Land in die Stadt strömten, um sich dort als abhängige Lohnarbeiter anzusiedeln. Die Produktionssteigerung ermöglichte die Versorgung einer erhöhten Bevölkerungszahl. Die Kombination aus dem Sinken der bis dahin hohen Kindersterblichkeit und dem Anstieg der Lebenserwartung trieb das Wachstum der Städte weiter in die Höhe (Lorberg u. Simon 2020: 368). Die Fabrikarbeit und die Entstehung der bürgerlich-kapitalistischen Gesellschaftsordnung in den Städten war gekennzeichnet durch eine sich ausbreitende Verelendung ganzer Bevölkerungsgruppen:

„Niedrige Löhne, lange Arbeitszeiten, Wohnungsnot, keine Rückgriffmöglichkeiten auf alte Formen sozialer Sicherung sind die Faktoren, die sich in physischer und psychischer Verelendung der Arbeiter, ... niederschlugen. Die Entwicklung einer neuen Verelendung weiter Kreise insbesondere der städtischen Bevölkerung durch die Fabrikarbeit entsprach weder in materieller noch ideeller Hinsicht den Erwartungen, die das Bürgertum an die Durchsetzung der bürgerlich-kapitalistischen Gesellschaftsordnung geknüpft hatte.“ (Rodenstein 1988: 69)

Die schlechten Wohn- und Arbeitsverhältnisse zogen Krankheiten und Epidemien nach sich, sodass Überlegungen zur räumlichen Organisation und öffentlicher Gesundheitspflege (Public Health) unausweichlich wurden. Die Idee des Gesundheitsschutzes in städtebaulichen Leitkonzepten war dabei zwar nicht neu, fand sich dieser doch bereits im Sinne der Stadthygiene in Konzepten zur Trinkwasserversorgung und Abfallentsorgung antiker Stadtstaaten wieder. Dennoch erlangte die Problematik durch das enorme Bevölkerungswachstum in den Städten, die daraus folgende hohe bauliche Verdichtung und die schlechten hygienischen Lebensbedingungen im Zuge der Industrialisierung eine neue Qualität mit sozialen und politischen Implikationen, auf die es politisch und



stadtplanerisch zu reagieren galt (Rodenstein 1988). Beispielhaft sei hier das stadtplanerische Konzept der *Gartenstadt* von Ebenezer Howard Ende des 19. Jahrhunderts genannt. Die Idee der Gartenstadt umfasste nicht nur einen Plan für die Entwicklung einer grünen Siedlung, mit kurzen Wegen zu zentralen Einrichtungen und Produktionsstätten, sondern auch einen Verwaltungs- und Finanzplan, der auf eine gerechte Ressourcenverteilung ausgerichtet war und auf die am stärksten gefährdeten Bevölkerungsgruppen wie „alte Arme“ abzielte (Howard 2010 [1989]). Langfristig und flächendeckend durchsetzen konnten sich solche Ansätze gegenüber wirtschaftlichen Interessen jedoch nicht, sodass die Folgen der industriellen Revolution und deren ökologischen und gesundheitlichen Schattenseiten in unseren Städten bis heute präsent sind.

Das sich in dieser Zeit entwickelnde Verständnis einer städtischen öffentlichen Gesundheit – oder auch Urban Public Health – ist nach dem zweiten Weltkrieg in weiten Teilen verloren gegangen und von einer kurativen Individualmedizin abgelöst worden. Mit der Debatte um die ökologische Krise in den 1980er-Jahren ist die Rolle der Stadtplanung für die Gestaltung und Verbesserung von Lebensverhältnissen und damit auch der Gesundheit wieder deutlich geworden (Rodenstein 1988).

15.1.2 Urbane Gesundheit und die Große Transformation

Diese skizzenhafte Rekonstruktion zeigt die historischen Wurzeln, aus denen die Notwendigkeit einer globalen Debatte über eine Nachhaltigkeitsrevolution erwachsen ist. Die Idee der nachhaltigen Entwicklung ist seit der ersten UN-Klimakonferenz in Rio de Janeiro 1992 in einem Prozess der Überführung in konkrete Zielvorgaben und Politiken der Umsetzung begriffen. Zu den Leitvorgaben zählen unter anderem die von den Vereinten Nationen formulierten Nachhaltigkeitsziele (Sustainable De-

velopment Goals) sowie das Pariser Klimaabkommen. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) entwirft in seinem 2011 veröffentlichten Gutachten eine Vision eines neuen *Gesellschaftsvertrages für eine Große Transformation* (WBGU 2011) zur erfolgreichen Umsetzung einer *nachhaltigen Entwicklung* (Vereinte Nationen 2015). Damit einher geht die Notwendigkeit einer postfossilen Wirtschaftsweise und klimaverträglicher Wertschöpfung, sie betrifft Produktion, Konsummuster und Lebensstile in lokalem, regionalem und globalem Ausmaß. Urbane Räume und damit einhergehend sowohl die Stadt(-entwicklung) als auch die Gesundheitsförderung werden dabei als zentrales Transformationsfeld adressiert:

„Die seit der UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 propagierte nachhaltige (Stadt-)Entwicklung setzte auf Ökologie und damit die Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs in den Städten, die Aufwertung städtischer Freiräume und Klimaschutz sowie die Energiebilanz von Gebäuden. Eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung wurde in §1 des Baugesetzbuches als Grundsatz verankert und umfasste damit implizit auch gesundheitsrelevante Aspekte.“ (Baumgart 2018: 30)

Weiteres Zeichen eines Paradigmenwechsels ist auch die 1986 von der WHO verabschiedete Ottawa-Charta als Ergebnis der ersten internationalen Konferenz zur Gesundheitsförderung. Das gesundheitspolitische Grundsatzdokument und Aktionsprogramm gilt als Rahmung zur Verbesserung von Gesundheit und Lebensqualität auch in einer globalen Perspektive. Der Abbau gesundheitlicher Ungleichheiten und die soziale Verteilung von Gesundheitschancen werden hier als dringlichste Aufgaben unter Anerkennung dessen, dass Gesundheit in der alltäglichen Lebensumwelt jenseits von Gesundheitsversorgung entsteht, formuliert. Eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung der Charta ist der *Health-in-all-policies-Ansatz* der WHO, der die Verankerung und Umsetzung von Gesundheit in allen Politikfeldern erfordert.

Die Ebene der Stadt ist für die politische Verankerung und Umsetzung von hervorzuhebender Bedeutung. In der Gestalt und der Gestaltung von Städten spiegeln sich die jeweiligen spezifischen sozialen, wirtschaftlichen, politischen, technischen und ökologischen Umstände einer Zeit wider und korrespondieren ebenso mit dem stetigen Wandel dieser Umstände. Der aktuell beobachtbare Urbanisierungstrend hat weltweit ein Niveau erreicht, das in dieser Form bisher unbekannt war. Zurzeit leben 55% der Weltbevölkerung in Städten mit einer Bevölkerung von mindestens 300.000. Bis 2050 sollen es Prognosen zufolge bereits 68% sein. In Europa sind es aktuell bereits fast 75% (Deutschland: 77,3%), für 2050 werden 83,7% (Deutschland: 84,3%) erwartet (United Nations 2019). Der WBGU spricht deshalb inzwischen vom 21. Jahrhundert als dem Jahrhundert der Städte (WBGU 2016). Dabei sind Städte Hauptverbraucher von Energie, drei Viertel der energiebedingten Treibhausgasemissionen werden in Städten verursacht und Städte beanspruchen mehr als die Hälfte des Siedlungswasserverbrauchs; bei steigender urbaner Siedlungs- und Verkehrsfläche (Rink u. Kabisch 2017: 243).

15.2 Klimaschutz und Klimaanpassung in einer gesundheitsfördernden Stadtentwicklung

Der Anstieg der Durchschnittstemperatur durch das weltweite Emissionsverhalten und zunehmende Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre geht einher mit spürbaren Veränderungen des Erdklimas. Langfristszenarien, allen voran der 2018 erschienene Sonderbericht des International Panel on Climate Change (IPCC 2018), führen vor Augen, dass selbst bei Erreichung des 1,5°C-Ziels, das 2015 im Übereinkommen von Paris formuliert worden ist, irreversible Prozesse losgetreten werden könnten, die unmittelbare wie mittelbare Konsequenzen für menschliche Gesundheit nach sich ziehen. Dazu gehören die Zunahme der Mitteltempera-

tur, häufigere und intensivere regionale Hitzeextreme und Starkniederschläge in bewohnten Gebieten sowie regionale Dürren und Niederschlagsdefizite. Hinzu kommt der Anstieg des Meeresspiegels, der mit erhöhtem Salzwasser eintrag, Überflutung und Schädigung von Infrastruktur verbunden ist; Biodiversitäts- und Ökosystemverlust durch Erwärmung des klimatisch bestimmenden geografischen Verbreitungsgebiets, Waldbrände oder die Ausbreitung invasiver Arten:

„Jegliche Zunahme der globalen Erwärmung wird sich laut Projektionen auf die menschliche Gesundheit auswirken, mit überwiegend negativen Folgen.“ (IPCC 2018: 13)

Während zu Beginn der Klimaforschung noch auf die reine Beschreibung des Klimasystems und dessen biophysikalische Veränderungen fokussiert wurde, verlagern sich die Forschungsinteressen zunehmend in Richtung der Möglichkeiten gesellschaftlicher Reaktionen auf den Klimawandel. Dabei haben sich zwei grundsätzlich unterscheidbare Prozesse herauskristallisiert: *Klimaschutz (Mitigation)* und *Klimaanpassung (Adaptation)*. Klimaschutz beschreibt dabei Maßnahmen, die im Wesentlichen auf die Senkung der globalen Durchschnittstemperatur mittels Treibhausgasminde rung abzielen. Klimaanpassung dagegen *„findet in von Menschen beeinflussten Systemen als Reaktion auf das aktuelle oder erwartete Klima und dessen Folgen statt“ (Marx 2017: 9)*. Es geht hier folglich um die Bewältigung von Klimafolgen bzw. die Erhöhung der Resilienz gegenüber Klimafolgen. Entscheidender Unterschied zum Klimaschutz besteht darin, dass Anpassungsmaßnahmen einen starken räumlichen Bezug aufweisen und nur in der jeweiligen Umsetzungsregion ihre Wirkung entfalten können. Während die Treibhausgasminde rungen durch Klimaschutzmaßnahmen aufgrund der Durchmischung innerhalb der Erdatmosphäre ortsunabhängig wirken, gilt es bei der Klimaanpassung regionale oder lokale Betroffenheiten zu berücksichtigen.



15.2.1 Klimawandelbedingte Gesundheitsrisiken in deutschen Städten

Der Klimawandel mit der zu erwartenden Zunahme sommerlicher Trocken- und Hitzeperioden, Extremwetterereignissen sowie den sich insgesamt ändernden Temperatur- und Niederschlagsverteilungen wirkt sich direkt wie indirekt auf die menschliche Gesundheit aus.

Zu den offensichtlichsten klimawandelbedingten Gesundheitsrisiken in der Stadt gehören die Hitzebelastung und daraus resultierender Hitzestress. In Abbildung 1 ist für das Ruhrgebiet die Zunahme von problematischen Stadträumen während Hitzeperioden für das Jahr 2013 und 2100 vergleichend abgebildet, festgestellt anhand von Klimaanalysekarten und einer FITNAH-Modellierung (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat sources) sowie dem zu erwartenden mittleren Temperaturanstieg (für das Beispiel der Stadt Köln vgl. Kemen et al. 2020).

Heimische Krankheitserreger (Hantaviren, Borrelien übertragen durch Zecken) werden in ihrer Ausbreitung durch ein milderes Klima begünstigt. Ebenso können bisher fremdartige Krankheitserreger (z.B. Dengue- oder Chikungunya-Viren übertragen durch die asiatische Tigermücke) sich so auch in Deutschland ausbreiten (Watts et al. 2019; Umweltbundesamt 2019).

Zu den vulnerablen Gruppen angesichts langer Hitzeperioden, wie in den Sommern 2018 und 2019, gehören ältere Menschen, Kleinkinder und Säuglinge sowie Menschen mit schweren Vor- und Grunderkrankungen. Aber auch Arbeits- und Wohnbedingungen sind Einflussfaktoren, die die jeweilige Betroffenheit von Hitze mitbestimmen. Berufsgruppen, die einen Großteil ihrer Arbeitsstunden draußen verbringen, sind einer erhöhten Hitzebelastung ausgesetzt; z.B. Dachdecker oder Angehörige der Straßenbaubranche. Wohnungen in höheren Stockwerken, mit schlechter Durchlüftung und/oder Nähe zum Stadtzentrum heizen stärker auf. Das daraus resultierende schlechte Innenraumklima hat negative Aus-

wirkungen auf das Wohlbefinden, die Lebensqualität und die Leistungsfähigkeit. Die medizinische Versorgungslandschaft muss sich auf diese Entwicklungen vorbereiten und mit einem erhöhten Patientenaufkommen während sommerlicher Hitzeperioden rechnen.

Hitzebedingte Sterbefälle im Sommer 2018

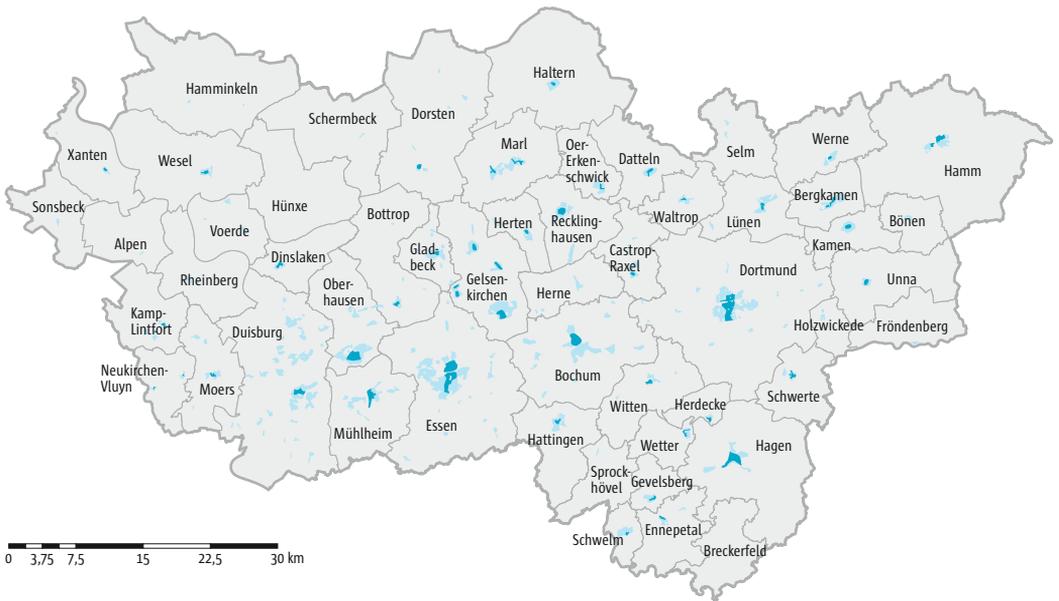
Der Sommer 2018 war der zweitheißeste seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Auch wenn für Gesamtdeutschland kein gebündeltes Monitoring der Sterblichkeitsdaten existiert, ist zumindest in den Bundesländern Berlin und Hessen ein solches etabliert. Darauf basierend hat das Robert Koch-Institut die hitzebedingten Todesfälle dieses Sommers für Berlin auf 490 geschätzt und für Hessen auf 740. Daraus ergibt sich eine hitzebedingte Mortalität von 12/100.000 Einwohner. In der Altersgruppe der 75- bis 84-jährigen betrug diese 60/100.000 Einwohner, bei den über 84-jährigen waren es sogar 300/100.000 (An der Heiden et al. 2019).

Darüber hinaus bedarf es in einigen Bereichen angepasster Abläufe und Strukturen: In besonders von Hitze betroffenen Berufsgruppen sollte erwogen werden, Arbeitszeiten und -prozesse den Witterungsbedingungen anzupassen z.B. durch Verlagerung in die kühleren Morgen- und Abendstunden, wie es in heißen Ländern bzw. Regionen schon lange üblich ist.

Gerade im Stadtzentrum wird die Hitzeentwicklung noch befördert durch starke Versiegelung und fehlende Frischluftschneisen, was zu lokalen Wärme- bzw. Hitzeinseln führt. Belastungen auslösen wird zudem die Zunahme von Tropennächten, in denen die Außentemperatur nicht unter 20°C sinkt und dadurch den Erholungseffekt des Schlafs hemmt.

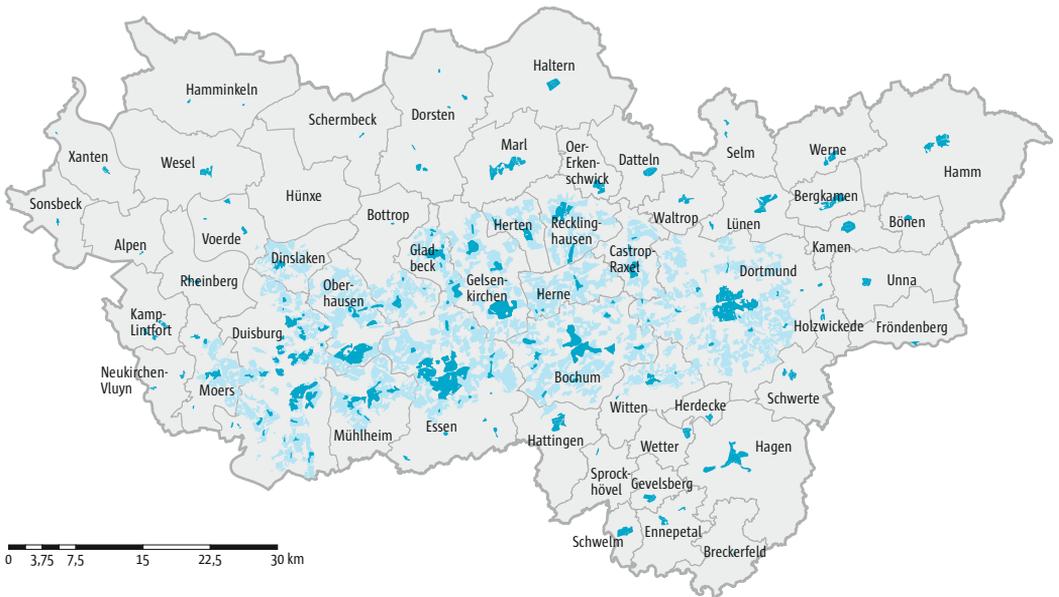
Positive Effekte von Dach- und Fassadenbegrünung

Begrünte Dächer wirken thermisch, lufthygienisch und energetisch auf die jeweilige Gebäudestruktur und potenziell sogar auf das gesamte Mikroklima eines



gegenwärtige Problemgebiete (2013)

Wärmebelastung während Hitzephasen: ■ hoch ■ sehr hoch Stadtgrenzen



zukünftige Problemgebiete (2100)

Wärmebelastung während Hitzephasen: ■ hoch ■ sehr hoch Stadtgrenzen

Abb. 1 Gegenwärtige (2013) und zukünftige Problemgebiete (2100) bei Hitzephase in der Metropole Ruhr (RVR o.J.: S. 78, mit freundlicher Genehmigung)



Stadtviertels, sofern Dachbegrünung im größeren Verbund angelegt wird. Es werden Temperaturextreme im Jahresverlauf abgemildert, da Blattwerk, Luftpolster und Verdunstung in der Vegetationsschicht im Sommer die Dachfläche kühlen und im Winter den Wärmeverlust des Hauses mindern. Durch das Auffangen von 70 bis 100% der Niederschläge in der Vegetationsschicht und anschließender Verdunstung kühlt die Luft in den Stadtteilen ab und Starkniederschläge werden erst zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben, wodurch das Stadtentwässerungssystem entlastet wird.

Gleiches gilt für Fassadenbegrünung. Insbesondere der luftthygienische Faktor ist hier zu betonen, da Fassadenbegrünungen Luftverunreinigungen herausfiltern (v.a. Feinstaub), was speziell in engen Straßenschluchten eine wirkungsvolle Begrünungsmaßnahme darstellt (EEA 2020).

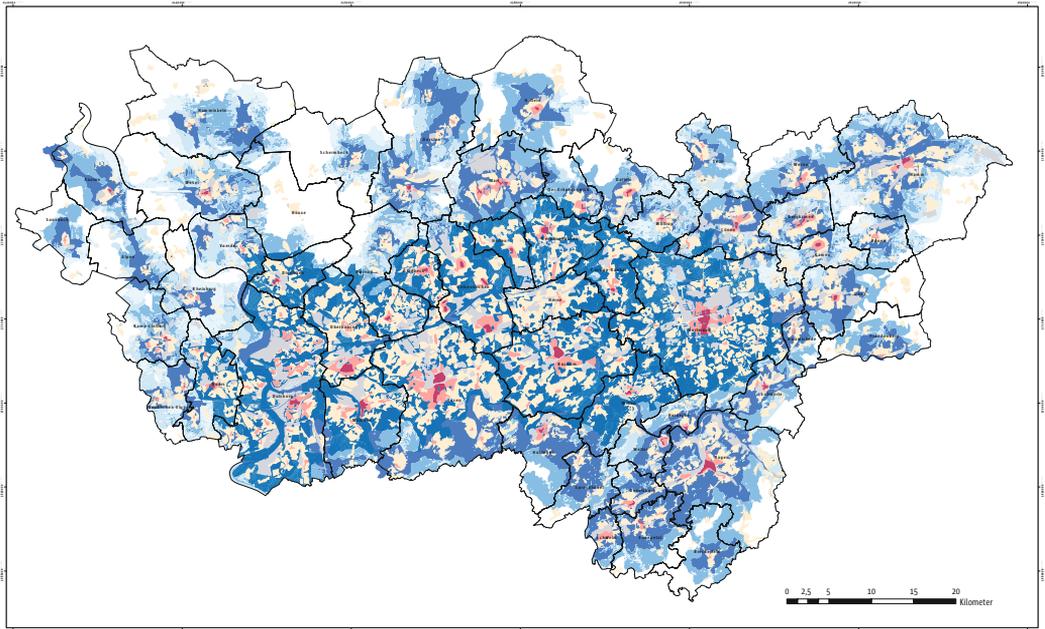
Die innerstädtische Versiegelung und Verdichtung beeinflusst zudem die natürliche Bodenstruktur, den Wasserhaushalt und die Wasserinfrastruktur einer Stadt (hier und im Folgenden Mc Call et al. 2020). Durch die verringerten Versickerungsmöglichkeiten wird das Abwasseraufkommen verstärkt und das Risiko von Überflutungen durch Starkregen befördert. Neben dem Risiko von Verschmutzungen und Kontaminationen mit Schadstoffen und Schäden an technischer Infrastruktur können solche Überflutungen und Hochwasser auch die soziale Infrastruktur (z.B. Krankenhäuser) betreffen. Hinzu kommt, dass lokale Unwetter bzw. Extremwetterereignisse wie Starkregen, Hagel, Sturm oder Hochwasser weitere gesundheitsgefährdende Folgen nach sich ziehen können: Gravitative Massenbewegungen (Erdrutsche, Steinschlag), erhöhte Unfallgefahr im Straßenverkehr, verminderte Wasserqualität sowie ebenfalls die Ausbreitung von Tierarten mit Vektorpotenzial (z.B. Mücken, Zecken).

Die bauliche (Nach-)Verdichtung geht oftmals auf Kosten von Grünflächen, wodurch deren temperaturniveaugleichende und luftverbessernde Effekte verloren gehen. Auch wird der Zugang zu Grünflächen als Bewegungs- und

Aufenthaltsmöglichkeit für die jeweilige Bevölkerung dadurch versperrt. Umfangreiche Analysen sind bereits jetzt notwendig, um wertvolle bestehende klimaökologische Stadtgebiete nicht durch weitere Verdichtung zu zerstören (s. Abb. 2 mit Beispiel Ruhrgebiet).

15.2.2 Sozial bedingte Betroffenheiten: die Frage der Umweltgerechtigkeit

Die oben beschriebenen möglichen Risiken und Gesundheitsgefährdungen sind innerhalb der Stadt ungleich verteilt. Ebenso wie umweltbedingte Gesundheitsprobleme aus räumlicher Perspektive erkannt werden können, sind auch soziale und ökonomische Problemlagen räumlich darstellbar. Die Frage, wie gesundheitsrelevante Umweltbelastungen und gesundheitsfördernde Umweltressourcen sozialräumlich verteilt sind, firmiert unter dem Begriff der Umweltgerechtigkeit. *„Wesentlich sind hierbei zwei Mechanismen: die soziale Ungleichverteilung von Umweltbelastungen und Umweltgütern (Expositionsvariation) und soziale Unterschiede in der Anfälligkeit (Vulnerabilität) hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkungen von Umweltexpositionen (Effektmodifikation)“* (Bolte et al. 2018: 675). Verschiedene Studien haben den Zusammenhang von umweltbedingten (Mehrfach-)Belastungen und sozialer Lage gezeigt (vgl. Bunge u. Rehling 2020). Die sozialräumliche Konzentration von Umweltbelastungen (Lärm, Luftschadstoffe, fehlende Grünflächen, schlechte Wohnverhältnisse etc.) korrespondieren mit sozial benachteiligten Stadtquartieren. Charakteristisch ist sowohl das erhöhte Niveau pathogener (Bsp. Luftschadstoffe) als auch das Fehlen salutogener (Bsp. Grünflächen) Umweltfaktoren in solchen Quartieren, die die soziale Vulnerabilität der Bewohner noch weiter erhöhen und sich auf deren allgemeinen Gesundheitszustand auswirken (ebd.).



**Klimaanpassung in der Metropole Ruhr
Planungshinweise**

Legende

Bewertung Ausgleichsräume

- Sehr hohe klimaökologische Bedeutung, gegenwärtig**
Freiflächen mit sehr hohem Kaltluftliefervermögen und direktem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Dazu zählen ebenfalls Luftleitbahnen und innerstädtische Grün- und Parkflächen. Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung/-änderungen. Diese Gebiete sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt.
- Sehr hohe klimaökologische Bedeutung, zukünftig**
Freiflächen mit sehr hohem Kaltluftliefervermögen und direktem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Dazu zählen ebenfalls Luftleitbahnen und innerstädtische Grün- und Parkflächen. Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung/-änderungen. Diese Gebiete sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung belegt.
- Hohe klimaökologische Bedeutung**
Freiflächen mit hohem Kaltluftliefervermögen im Bereich von Siedlungen. Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Insbesondere im Kernbereich der Metropole Ruhr ist den Flächen eine hohe Bedeutung beizumessen, so dass dort bei zukünftigen Nutzungsänderungen zusätzliche klimatisch-lufthygienische Sondergutachten empfohlen werden.
- Mittlere klimaökologische Bedeutung**
Freiflächen mit mittlerem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Mäßige Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Aus klimatischer Sicht ist eine maßvolle Bebauung auf diesen Flächen daher zulässig, sofern dadurch keine Einschränkungen der Belüftungsverhältnisse zu erwarten sind.
- Geringe klimaökologische Bedeutung**
Freiflächen mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete. Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Es handelt sich um Flächen, die vergleichsweise stabil gegenüber nutzungsändernden Eingriffen sind, sofern es sich nicht um überdimensionierte Maßnahmen handelt. Innerhalb des Kernbereiches der Metropole Ruhr ist auf diesen Flächen auf eine ausreichende Belüftung zu achten.

Lasträume

- Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete:**
Bebauungsstrukturen und Begrünung sind bioklimatisch gegenwärtig noch positiv zu bewerten. Günstige Bebauungsstrukturen erhalten.
- Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete:** Klimatisch mäßig belastete Gebiete, weitere Verdichtung vermeiden, bioklimatische Entlastung durch aufgelockerte Bauweise, keine massigen Gebäudekomplexe. Durchgrünungsgrad erhalten und vergrößern.
- Lastraum der hochverdichteten Innenstadt:**
Extremes Stadtklima kann zu Austauschproblemen mit hohen Schadstoffanreicherungen und belastendem Bioklima führen. Reduktion der Schadstoffemissionen, besonders des Kfz-Verkehrs. Belüftungsschneisen erhalten und an den Rändern öffnen. Begrünungsmaßnahmen vorsehen.
- Lastraum der Gewerbe und Industrieklimate:** Diese Gebiete sind oftmals durch starke Emissionen, Lärm und Staubbelastungen charakterisiert. Freihalten von Belüftungsbahnen, Entsiegelung und Begrünung von Freiflächen, Lager- bzw. Parkplätzen. Immissionsschutzpflanzungen, insbesondere im Übergangsbereich zu angrenzender Wohnnutzung.
- Stadtgrenze**



Abb. 2 Bewertung von Ausgleichs- und Lasträumen im Zuge der Klimaanpassung für das Ruhrgebiet (RVR o. J.: S. 88, mit freundlicher Genehmigung)



Zugang zu Grünflächen als gesundheitsfördernder Faktor

In einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten wurde ein positiver Zusammenhang zwischen lokalem Zugang zur Natur und reduzierter Morbidität festgestellt, insbesondere bei Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen. Während weniger Herz-Kreislauf-Erkrankungen und ein niedrigerer Blutdruck durch Bewegung im Grünen wahrscheinlich sind, wurde auch festgestellt, dass der bloße Kontakt mit der Natur einen positiven Einfluss auf Herzfrequenz und Blutdruck hat. In Bezug auf Typ-2-Diabetes fand man eine geringere Prävalenz bei Menschen, die in der Nähe einer großen Grünfläche leben sowie Zusammenhänge zwischen Grünflächen in der Nachbarschaft und einer geringeren Wahrscheinlichkeit, an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken (EEA 2020). Eine populationsbasierte Studie im Ruhrgebiet konnte zeigen, dass mit zunehmendem Grün in direkter Wohnumgebung sowohl der Gesundheitszustand positiver bewertet wurde als auch die Zufriedenheit mit der Nachbarschaft und das Sicherheitsempfinden anstiegen – unabhängig von Sozial- und weiteren Einflussfaktoren (Orban et al. 2017).

Die Betroffenheit einzelner Städte vom Klimawandel hängt somit zum einen von den konkreten klimatischen Parametern vor Ort sowie von den jeweiligen Merkmalen und Prozessen ab, die die ökonomischen und sozialen Schäden und deren gesellschaftliches Bewältigungspotenzial bestimmen. Bei der Abschätzung und Beurteilung möglicher Klimaschäden und -folgen gilt es, das komplexe Netz aus sozialen, ökonomischen, ökologischen und physisch-infrastrukturellen Faktoren als Ganzes zu betrachten und darauf aufbauend Städte zu klimagerechten, gesundheitsfördernden und lebenswerten Orten zu machen.

15.3 Ansatzpunkte einer integrierten klimasensiblen Stadtentwicklung zur Gesundheitsförderung

Die aktuelle und künftige Lebensqualität der Bewohner einer Stadt hängt somit wesentlich

von klimaverträglichen und klimaresilienten Konzepten der Stadtentwicklung ab. Räumliche Strukturen einer Stadt können durch Art und Gestaltung der baulichen Nutzung die klimatische Situation entscheidend beeinflussen und gestalten und dadurch direkt oder indirekt Einfluss auf menschliche Gesundheit nehmen. Mögliche Konzepte urbaner Transformation sind die *postfossile* und die *resiliente* Stadt. Die Herausforderung einer postfossilen Stadt besteht in der erfolgreichen Transformation von einer auf fossilen Energien und hohem Energieverbrauch basierenden Stadt hin zu einer Stadt mit niedrigem Energieverbrauch unter Nutzung erneuerbarer Energien. Eine solche Transformation impliziert massive Eingriffe in nahezu sämtliche kommunale Politikfelder und umfasst technologische, ökonomische und soziale Innovationen hinsichtlich Energie-, Wärme- und Kälteproduktion sowie deren Verteilung und Konsumtion (Rink u. Kabisch 2017: 255). Das betrifft den Verkehrs- ebenso wie den Bau- und Sanierungsbereich.

Die Transformation zur resilienten Stadt zielt derweil auf die Vulnerabilität von Städten gegenüber Klimaänderungen und deren Folgen ab und konzentriert sich auf mögliche bzw. notwendige Anpassungsmaßnahmen. „Zu prüfen ist vor allem, wie das Konzept der resilienten Stadt praktische Relevanz für Planer und die kommunale Verwaltung oder Katastrophenschutzorganisationen und -agenturen gewinnen kann, um Vorsorge- und Reaktionskapazitäten in Städten bzw. Siedlungsbereichen aufzubauen und zu verbessern“ (Rink u. Kabisch 2017: 258). Dies betrifft vor allem die Kommunen als Umsetzungsadressaten, denen es jedoch in den meisten Fällen an ausreichend finanziellen und personellen Ressourcen mangelt, insbesondere für eigene stadtklimatische Untersuchungen. Im Juni 2020 hat das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst und der Stadt Bonn ein Online-Tool für Kommunen und Stadtplaner entwickelt, das die Prüfung der Wirkung verschiedener Anpassungsmaßnahmen im Stadtquartier

ermöglichen soll (<https://www.klimaanpassung-karte.nrw.de/?feld=inkas-nrw>).

Bei beiden Konzepten müssen immer die komplexen Wirkungszusammenhänge beachtet und darauf aufbauend ganzheitliche Lösungsansätze statt isolierter Einzelmaßnahmen angestrebt werden. „Pauschale Aussagen über die Auswirkungen von planerischen Eingriffen auf das gesamte Stadtgefüge sind nicht möglich. Vielmehr gilt es, die Faktoren bei jedem Projekt ganzheitlich zu bewerten und je nach Situation und Standort abzuwägen“ (Anders 2018: 31). Dabei sind postfossile und resiliente Strategien nicht trennscharf voneinander zu separieren, sondern weisen Schnittmengen auf und sollten entsprechend kombiniert gedacht werden.

Grundsätzliche Interventionsmöglichkeiten, um zunehmender Hitzebelastung in Städten entgegenzuwirken, ist die Nutzung des thermisch dämpfenden Potenzials von Grün- und Wasserflächen, also die Schaffung von stadtblauen und -grünen Elementen (Kemen et al. 2020). Überwiegend grüne oder blaue, wenig versiegelte Flächen übernehmen wichtige Funktionen für das lokale Kleinklima. Die positive Wirkung von Grünflächen auf das Stadtklima sowie die Luftqualität und Lärminderung ist abhängig von Größe, Aufbau und Zusammensetzung der vegetationsbestandenen Fläche. Mit Gras bewachsene Flächen wirken positiv auf die Strahlungs- und Wärmebilanz, während durch Bäume und Sträucher erzeugte Schattenplätze bioklimatische Effekte weiter ergänzen. An Kaltluftentstehungsgebiete des ländlichen Umlands (Wiesen und Felder) sind diese städtischen Grünflächen idealerweise über Ventilationsbahnen angebunden. Die Ausweisung großräumiger Freiflächen als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen (insbesondere mit Blick auf die Luftzirkulation in einem Stadtquartier) und deren Vernetzung mit lokalen Grünflächen ist hier als raumplanerisches Instrument möglich.

Neben den thermischen Effekten ist insbesondere Stadtblau für die psychische Gesundheit und das Wohlbefinden bemerkenswert,

insofern es einen positiven Zusammenhang gibt zwischen der Exposition gegenüber blauen Räumen und der psychischen Gesundheit, dem Wohlbefinden und dem Grad der körperlichen Aktivität (Gascon et al. 2017). Es zeigt sich zudem, dass das Wohlbefinden von Stadtbewohnern besonders mit blauen Räumen assoziiert wird, und zwar durch verstärkte Kontemplation, emotionale Bindung, Teilnahme und körperliche Aktivität (Völker u. Kistemann 2011).

Um die Hitze in Innenräumen zu reduzieren, sind Maßnahmen der thermischen Gebäudeisolation, der Dach- und Hausbegrünung sowie der hitzeadäquaten Gebäudeplanung Ansatzpunkte direkt am Gebäude selbst; sowohl bei der Sanierung des Gebäudebestands als auch beim Neubau. Solch bauliche Maßnahmen betreffen auch die Planung und Gestaltung von Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen, um sowohl die Energiebilanz der Gebäudekomplexe zu steigern und damit aktiven Klimaschutz zu betreiben als auch durch die Maßnahmeneffekte der Klimaanpassung die Bedingungen für Patienten und Personal zu verbessern:

Überlegenswert sind zudem neue Konzepte von Gesundheitsversorgung, die aktiv in die Gestaltung der Megatrends des 21. Jahrhunderts – Urbanisierung, Klimawandel und Digitalisierung – einbezogen und integriert werden. Ein Ansatz könnte dabei sein, das Smart Hospital jenseits der Begrenzung durch Klinikmauern zu denken und Gesundheitsversorgung integrativ über die verschiedenen Räume einer Stadt (Wirtschafts-, Bildungs-, Sozial-, Kultur-, Umwelt-, Verkehrsraum) zu entfalten. Gesundheitsversorgung wird dadurch quer durch alle Stadträume mitgedacht und kann Entwicklungsimpulse geben.

Mit Blick auf die sich möglicherweise ändernde Häufigkeit und Intensität von Hochwasserereignissen, ist ein vorausschauender und vorbeugender Hochwasserschutz eine wichtige Klimafolgenanpassungsmaßnahme. Vor allem die Erfassung der betroffenen Überschwemmungsgebiete, die bei einem hundertjährigen Hoch-



wasserereignis überflutet würden sowie die Identifizierung und Ausweisung von Gebieten zur Hochwasserentlastung und Rückhaltung sind hier als raumordnerisches Instrument von Bedeutung. Aber auch angesichts kurzfristiger Überflutungsrisiken durch Starkregen bedarf es der Sicherung vorhandener bzw. Schaffung neuer Abfluss- und Retentionsflächen.

Dies sind nur einige Beispiele wie Stadtplanung und Stadtentwicklung auf Klimaschutz und Klimafolgenanpassung Einfluss nehmen und diese sogar aktiv mitgestalten können. Neben der Verhinderung von Risiken sollte hier auch verstärkt der Blick auf die Ausgestaltungsmöglichkeiten von Ressourcen gerichtet und bewusst eine salutogenetische Perspektive eingenommen werden. Denn es ist in vielerlei Hinsicht bis heute unklar „*wie guter, gesundheitsförderlicher öffentlicher Raum (Plätze, Straßen) beschaffen sein muss in Bezug auf Zugang, Umwelt- und Aufenthaltsqualität, soziale Kontaktmöglichkeiten, partizipative Gestaltungsmöglichkeiten – und diese jeweils mit Blick auf spezifische Bevölkerungsgruppen (Geschlecht, Soziodemografie, Lebensphase, Migration, Arbeit, Krankheit)*“ (Moebus 2020: 11).

15.4 Umsetzungsbeispiele

15.4.1 Lebenswerte Straße in resilienten Quartieren

Die Gestaltung der gebauten Stadt sollte in diesem Sinne die Dimensionen Dekarbonisierung, systemische Resilienz, grüne Infrastrukturen sowie soziale Integration und Begegnung als Ziel integrativ betrachten. Erste Ansätze finden sich in einzelnen Pilotprojekten, die versuchen einen Paradigmenwechsel bisheriger Stadtplanung herbeizuführen. Zu nennen sind hier u. a. die Städte Kopenhagen und Wien.

Konkrete Planungsentwürfe für den Umbau von zwei Quartiersstraßen im Ruhrgebiet werden im Projekt LesSON des Wuppertal Instituts angefertigt. Dabei sollen nationale und internationale Trends der Stadtplanung und des

Stadtumbaus aufgegriffen und an den ökologischen Herausforderungen wie Klimawandel, Klimaanpassung und Biodiversität ausgerichtet werden und dabei gleichzeitig die Bedarfe der Bewohner der umzugestaltenden Quartiersstraßen in den Vordergrund gestellt werden (Wuppertal Institut 2020).

15.4.2 Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“

In der Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“ haben Kommunen der Emscherregion (Ruhrgebiet) sich als *Emschergenossenschaft* zusammengeschlossen, um die fachübergreifende Zusammenarbeit innerhalb und zwischen den kommunalen Verwaltungen voranzubringen (<http://www.wasser-in-der-stadt.de/wasser-in-der-stadt-von-morgen/>). Akteure aus Fach- und Verantwortungsbereichen, wie Wasserwirtschaft, Umwelt, Verkehr, Stadt- und Freiraumentwicklung zielen dabei auf fachübergreifende Kooperationen und Planungen. Im Zentrum steht die Rolle von Wasser in der Stadtgestaltung und für die Klimaanpassung. Dies umfasst u. a. die Vernetzung von Grünzügen und Wasserachsen, die Schaffung temperaturregulierender Wasserflächen, dezentrale Puffer- und Speicherräume zum Rückhalt von Starkregen und die Gestaltung urbaner Landschaft mittels Bewirtschaftung durch Regenwasser.

In ihrem 2019 fortgeschriebenen Maßnahmenplan 2020+ (Zukunftsinitiative 2019) setzt sich die Zukunftsinitiative für die gesundheitsförderliche Entwicklung ihrer Städte mittels einer integrierten Gesundheits-, Sozial- und Umweltberichterstattung ein, um so insbesondere Stadtgebiete mit Mehrfachbelastungen und erhöhten Handlungsbedarfen zu identifizieren. Zudem sollen kommunale Gesundheitskonferenzen zum Wissenstransfer und zur Sensibilisierung für das Potenzial grüner und blauer Infrastrukturen dienen und relevante Akteure vernetzen, um die Zusammenarbeit zu stärken.

15.5 Abschlussbemerkungen

Die oben aufgeführten Ansätze zeigen, dass eine ganzheitliche Stadt- und Quartiersentwicklung einen wichtigen Beitrag zur urbanen Gesundheitsförderung leisten kann bzw. die Perspektive der Gesundheitsförderung in der Entwicklung von Stadt- und Quartierskonzepten fruchtbare Impulse gibt. Dennoch muss dieser Aspekt noch prominenter herausgestellt und in den verschiedenen politischen Ebenen verankert werden. Wichtiger Baustein dazu ist ein Paradigmenwechsel von einem pathogenen zu einem salutogenen Gesundheitsbegriff zur Beantwortung der Frage, wie Städte in Zukunft gestaltet sein sollen bzw. müssen, um nachhaltiges und gesundes Leben möglich zu machen.

Der WBGU identifiziert hierzu acht Schwerpunkte im Feld urbaner Gesundheit, die bisher zu stark vernachlässigt wurden, zukünftig jedoch von steigender Bedeutung sind (WBGU 2016: 23):

- globaler Paradigmenwechsel von Krankheitsbekämpfung zu Gesundheitsförderung durch Stärkung von Ressourcen und Potenzialen für ein gesundes Leben in Städten
- Gesundheitsförderung durch sektorübergreifende Stadtplanung bzw. -entwicklung und Stärkung kommunaler Planungskonzepte dauerhaft verankern
- Gesundheitskompetenz und -handeln der Stadtbevölkerung fördern
- substantielle Teilhabe sichern und Nahversorgung verbessern
- Städte gesundheitsfördernd gestalten mit Fokus auf Begegnungs- und Aktivitätsräumen
- Selbstorganisation von Stadtbewohnerinnen stärken, kleinräumige gesundheitsfördernde Maßnahmen im Quartier ermöglichen
- urbane Epidemien und neue Infektionskrankheiten durch Förderung der Resilienz der Bevölkerung, Gesundheitsbildung und Verbesserung der Gesundheitsberichterstattung eindämmen

- Gesundheitsförderung durch sektorübergreifende Stadtplanung (Synergien Klimaschutz/Dekarbonisierung) anstreben

Gerade die Corona-Krise hat vor Augen geführt, von welcher Bedeutung das unmittelbare Lebensumfeld ist, wie z.B. die Wiederentdeckung lokaler Solidarität und Wirtschaftsstrukturen oder auch die Qualität von Erholungsräumen in unmittelbarer Nähe. Eindrücklich waren die Bilder von verwaisten Innenstädten einerseits und belebten Grünflächen andererseits. Dies zeigt, dass viele unserer Innenstädte offenbar über zu wenig Aufenthaltsqualität verfügen und abseits des Konsums kein Anreiz besteht, um sich dort aufzuhalten. Auch sind durch die Corona-Pandemie bereits bestehende Ungleichheiten nochmals deutlich hervorgetreten: beengte Wohnverhältnisse, prekäre Arbeitsbedingungen und Einkommensausfälle, kein Zugang zu Stadtgrün/-blau sind nur einige wenige Beispiele. Schneidewind et al. plädieren angesichts dessen dafür, Lehren aus der Corona-Krise zu ziehen:

„Die Innenstadt der Zukunft darf nicht allein Einkaufsort sein. Sie muss multifunktionaler werden. Sie muss Arbeits-, Wohn-, Begegnungs-, Lern-, Spiel-, Betreuungs-, Logistik-, Gastronomie- und Einkaufsmöglichkeiten in kluger Weise miteinander kombinieren. [...] Wenn Innenstädte dann auch noch grüner werden als sie derzeit meistens sind, dazu eine andere Mobilität aufweisen, mit weniger motorisiertem Individualverkehr, einem optimierten ÖPNV mit Schnittstellen zu Car- und Fahrrad-Sharing-Angeboten, werden sie zu Erholungs-, Erlebnis- und Außenräumen mit Aufenthaltsqualität, die Menschen auch außerhalb der Ladenöffnungszeiten nutzen können.“ (Schneidewind et al. 2020: 6f)

Angesichts der zu erwartenden Klimaänderungen sieht sich der Gesundheitssektor einem erhöhten Versorgungsbedarf gegenüber, unter anderem bezogen auf Hitzestress, Luftqualität sowie Ausbreitung von Krankheiten. Eine klimasensible Stadtplanung, die Gesundheitsförderung explizit in ihre Agenda aufnimmt und



in Verwaltungs- und Bürgerhandeln integriert, kann wesentlich dazu beitragen, diesen Versorgungsbedarf zu senken.

Literatur

- An der Heiden M, Buchholz U, Uphoff H (2019): Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle und Betrachtung der Exzess-Mortalität; Berlin und Hessen, Sommer 2018. *Epidemiologisches Bulletin* Nr. 23. Berlin.
- Anders S (2018): Mehrwert nachhaltiger Stadtquartiere. In: Bott H, Grassl GC, Anders S (Hrsg.) (2018): *Nachhaltige Stadtplanung. Lebendige Quartiere, Smart Cities, Resilienz*. DETAIL Business Information GmbH, München. S. 28–31.
- Baumgart S (2018): Räumliche Planung und öffentliche Gesundheit – eine historische Verknüpfung. In: Baumgart S, Köckler H, Ritzinger A, Rüdiger A (Hrsg.) (2018): *Planung für gesundheitsfördernde Städte*. Hannover, *Forschungsberichte der ARL* 08, S. 20–36.
- Bolte G, Bunge C, Hornberg C, Köckler H (2018): Umweltgerechtigkeit als Ansatz zur Verringerung sozialer Ungleichheiten bei Umwelt und Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt*, 61. Jahrgang, Heft 6, S. 674–683.
- Bunge C, Rehling J (2020): Umweltgerechtigkeit in Städten. Empirische Befunde und Strategien für mehr gesundheitliche Chancengleichheit. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2020): *Gesundheit und Krankheit in räumlicher Perspektive*. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2020. Stuttgart, Franz Steiner Verlag. S. 70–83.
- EEA – European Environment Agency (2020): *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe*. EEA Report No. 21/2019. Luxembourg, Copenhagen.
- Gascon M, Zijlema W, Vert C, White MP, Nieuwenhuijsen, MJ (2017): Outdoor blue spaces, human health and well-being: A systematic review of quantitative studies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Volume 220, Issue 8, S. 1207–1221.
- Howard E (2010 [1989]): *Tomorrow a Peaceful Path to Real Reform*. New York: Cambridge University Press, New York.
- IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change (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*. (Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPSS, Geneva, Switzerland.
- IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change (2018): *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. (Masson-Delmotte, V.; P. Zhai; H.-O. Pörtner; D. Roberts; J. Skea; P.R. Shukla; A. Pirani; W. Moufouma-Okia; C. Péan; R. Pidcock; S. Connors; J.B.R. Matthews; Y. Chen; X. Zhou; M.I. Gomis; E. Lonny; T. Maycock; M. Tognos; and T. Waterfield (eds.)). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Kautnek T (2012): *Der Clean Development Mechanism als Regulatorisch postfordistischer Naturverhältnisse*. Zum Spannungsverhältnis zwischen Kosteneffizienz und nachhaltiger Entwicklung. Diplomarbeit. Universität Wien, Wien. Philologisch-Kulturwissenschaftliche Fakultät.
- Kemen J, Schäffer-Gemein S, Kistemann, T (2020): *Klimaanpassung und Hitzeaktionspläne*. Ein idealtypisches Thema der geografischen Gesundheitsforschung. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2020): *Gesundheit und Krankheit in räumlicher Perspektive*. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2020. Stuttgart, Franz Steiner Verlag. S. 58–69.
- Lorberg D, Simon K (2020): Engels und die Stadt. In: Lucas R, Pfriem R, Westhoff H-D (Hrsg.) (2020): *Arbeiten am Widerspruch – Friedrich Engels zum 200. Geburtstag*. Marburg. Metropolis-Verlag. S. 365–396.
- Marx A (2017): *Klimawandel – ein Überblick*. In: Marx A (Hrsg.) (2017): *Klimaanpassung in Forschung und Politik*. Wiesbaden. Springer Spektrum. S. 3–16.
- Mc Call T, Liedtke TP, Liebig-Gonglach M, Freymüller J, Hornberg C (2020): *EcoHealth und Stadtplanung. Eine Public-Health-Perspektive*. In: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2020): *Gesundheit und Krankheit in räumlicher Perspektive*. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2020. Stuttgart, Franz Steiner Verlag. S. 84–95.
- Meadows DH, Meadows DL; Randers, Jørgen; Behrens III, William W (1972): *The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
- Moebus S (2020): *Gebaute Stadt und Gesundheit – Bedeutung und Implikationen für die Prävention und Gesundheitsförderung*. In: Tiemann M, Mohokum M (Hrsg.) (2020): *Prävention und Gesundheitsförderung*. Springer Reference Pflege – Therapie – Gesundheit.
- Orban E, Sutcliffe R, Dragano N, Jöckel K-H, Moebus S (2017): Residential Surrounding Greenness, Self-Rated Health and Interrelations with Aspects of Neighborhood Environment and Social Relations. *J Urban Health*. 94(2):158–169
- Regionalverband Ruhr (RVR) (o.A.J.). *Fachbeitrag zum Regionalplan der Metropole Ruhr „Klimaanpassung“*. Regionalverband Ruhr Referat Geoinformation und Raumbewachung Referat Team Klimaschutz, Klimaanpassung und Luftreinhaltung. Essen. Zugriff 29.10.2020: www.rvr.ruhr/fileadmin/user_upload/01_RVR_Home/02_Themen/Regionalplanung_Entwicklung/Regionalplan_Ruhr/04_Fachbeitraege/Fachbeitrag_Klimaanpassung.pdf
- Rink D, Kabisch S (2017): *Urbane Transformationen und die Vision nachhaltiger Stadtentwicklung*. In: Brand, Karl-Werner (Hrsg.) (2017): *Die sozial-ökologische Transformation der Welt*. Ein Handbuch. Campus Verlag, Frankfurt/New York, S. 243–266.

- Rodenstein M (1988): „Mehr Licht, mehr Luft“: Gesundheitskonzepte im Städtebau seit 1750. Frankfurt a.M., New York. Campus Verlag. Zugleich: Berlin, Technische Universität, Habilitationsschrift.
- Rosenbaum W, Mautz R (2011): Energie und Gesellschaft: Die soziale Dynamik der fossilen und der erneuerbaren Energien. In: Matthias Groß (Hrsg.): Handbuch Umweltsoziologie. 1. Auflage Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 399–420.
- Schneidewind U, Baedeker C, Bierwirth A, Caplan A, Haake H (2020): „Näher“ – „Öffentlicher“ – „Agiler“. Eckpfeiler einer resilienten „Post-Corona-Stadt“. Diskussionspapier. Wuppertal Institut.
- Watts N et al. (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. Lancet Vol. 394, Issue 102011, S. 1836–1878.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019): World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
- Vereinte Nationen (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015. A/RES/70/1. New York.
- Völker S, Kistemann T (2011): The impact of blue space on human health and well-being – Salutogenetic health effects of inland surface waters: A review. International Journal of Hygiene and Environmental Health, Volume 214, Issue 6, S. 449–460.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin WBGU.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2016): Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte. Berlin. WBGU.
- Wuppertal Institut (Hrsg.) (2020): „Lebenswerte“ Straße in resilienten urbanen Quartieren. Projektergebnisse eines Teilprojektes im Gesamtprojekt „Eckpunkte für die Umsetzung einer Landesstrategie zur Klimaanpassung aus wissenschaftlicher Sicht“. Wuppertal Report 17. Wuppertal.
- Zukunftsinitiative (2019): Maßnahmenplan 2020+ der Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“. Fortschreibung 2019. http://www.wasser-in-der-stadt.de/fileadmin/Medien/Projekte/Dokumente/20190521_Entwurf_Aktualisierung_2019_Gesamtdokument.pdf



Judith Schröder, M.A.

Judith Schröder studierte Philosophie, Politik- und Europawissenschaften und war mehrere Jahre am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Forschungsfeld der Energie- und Klimapolitik tätig bevor sie ans Institut für Urban Public Health am Universitätsklinikum Essen kam, um die Zusammenhänge von ökologischer Krise, Stadtentwicklung und Urban Public Health zu beforschen.



Prof. Dr. rer. nat. Susanne Moebus, MPH

Studium der Biologie in Bremen und Public Health in Bielefeld. Professorin für Urbane Epidemiologie am Universitätsklinikum Essen der Universität Duisburg-Essen und Leiterin des Zentrums für Urbane Epidemiologie am Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie seit 2012. Anfang 2020 Leitung des neu gegründeten Instituts für Urban Public Health (InUPH) am Universitätsklinikum Essen. Neben bevölkerungsbezogener epidemiologischer Forschung im Rahmen von großen Kohortenstudien liegen Schwerpunkte ihrer interdisziplinären und anwendungsorientierten Forschung in der Beschreibung und Analyse gesundheits- und krankheitsbezogener Zusammenhänge in städtischen Räumen.

16 Den Klimawandel bewältigen: Herausforderungen an die institutionelle Organisation des Gesundheitswesens

Ingo Bode

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-16, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Die Bewältigung des Klimawandels setzt, gerade wenn es um die Gesundheitsversorgung geht, eine problemsensible Organisation von Infrastrukturen voraus. Aus sozialwissenschaftlicher Sicht interessant sind diesbezügliche institutionelle Steuerungsmechanismen sowie die Passung zu relevanten Praxisorientierungen im Versorgungsgeschehen, auch mit Blick auf notwendige Koordinationsprozesse. Herausforderungen zeigen sich auf mehreren Ebenen: im Bereich der Prävention, bei der Begleitung von längerfristigen gesundheitlichen Beeinträchtigungen sowie für Ad-hoc-Interventionen in Hochrisikosituationen. Überall hat die Reaktion auf den Klimawandel infrastrukturellen Charakter; dabei stellen sich dem deutschen Gesundheitssystem ohnehin belastende Organisationsprobleme in neuer Schärfe. Zielführend, aber durchaus voraussetzungsvoll, wäre eine neue Infrastrukturpolitik, die Steuerungsmechanismen so gestaltet, dass Sachziele Priorität haben und die Praxis im Rahmen eines multidimensionalen Versorgungsauftrags über Spielräume verfügt, sich sowohl mit langem Atem als auch mit spontanem Krisenmanagement den o.g. Herausforderungen zu stellen.

In healthcare systems, coping with climate change presupposes a problem-focused reorganisation of a given infrastructure for planning and service supply. From the perspective of the social sciences, this implies looking at institutional modes of governance and their fit with relevant orientations of involved practitioners, including with respect to built-in processes of coordination. Challenges exist at different levels, namely prevention, long-term assistance to the chronically ill and ad hoc intervention in emergency situations. In all these instances, the response to climate change carries an infrastructural character even as problems already inherent to the German healthcare system become exacerbated. A promising, though demanding, way forward could be a new approach to infrastructure building through which relevant modes of governance would be shaped in strict accordance with policy objectives and sufficient discretionary space given to a set of practitioners who, in light of the aforementioned challenges, would have a multidimensional remit to accomplish both 'long breath' intervention processes and spontaneous crisis management.

16.1 Einführung

Ökologische Dynamiken wie der Klimawandel können die Lebensbedingungen der Menschen gravierend verändern. Art und Ausmaß dieser Veränderungen hängen freilich auch davon ab, wie Gesellschaften Lebensverhältnisse *organisieren* – und das betrifft nicht zuletzt die Gesundheitsversorgung. Wesentliches ist politisch-administrativ reguliert: Zuständigkeiten und Verfahrensregeln folgen rechtlichen Vorgaben, insofern regiert der Staat. Allerdings wird gerade im deutschen Gesundheitswesen vieles verhandelt und vereinbart. Anderes folgt – politisch durchaus gewollt – der „unsichtbaren Hand“ von Marktbeziehungen bzw. erwerbswirtschaftlich orientierter Konkurrenz. Die *institutionelle* Ordnung des Gesundheitssystems unterfüttert mithin *verschiedene* Steuerungsmechanismen, welche ihrerseits je unterschiedlich auf systeminterne Koordinationsprozesse einwirken. Gleichzeitig ist die Versorgung davon geprägt, wie in den beteiligten Instanzen gefühlt, gedacht und gehandelt wird. Hier beeinflussen *diverse* Praxisorientierungen das Versorgungsgeschehen – wobei bestimmte Rahmenbedingungen dazu führen können, dass einige stärker und andere schwächer zur Geltung kommen.

Unter Einnahme dieser sozialwissenschaftlichen Perspektive wird nachfolgend diskutiert, wie das deutsche Gesundheitssystem angesichts der klimabedingten Herausforderungen aufgestellt ist und welche Baustellen sich hier identifizieren lassen. Das Augenmerk richtet sich dabei auf die institutionelle Organisation des Systems im obigen Sinne, konkret die Frage: Was könnte diesbezüglich bei der Reaktion auf den Klimawandel stören – und was könnte helfen? Dieser Frage wird in drei Schritten nachgegangen. Den Anfang bilden Anmerkungen zur Art der durch den Klimawandel absehbar hervorgerufenen gesundheitsbezogenen Beeinträchtigungen; diese werden in anderen Beiträgen dieses Reports fachkundig dargelegt, sodass hier lediglich die allgemeine

Agenda umrissen wird, v.a. mit Blick auf deren Multidimensionalität und infrastrukturellen Charakter sowie die Bedeutung nicht-medizinischer Aspekte. Danach folgen Beobachtungen zu Merkmalen des deutschen Gesundheitswesens, von denen angenommen werden kann, dass sie sich bei Reaktionen auf den Klimawandel als *Organisationsprobleme* darstellen. Am Ende stehen Überlegungen zu *möglichen Reaktionen* auf den Klimawandel – also zu der Frage, welche institutionellen Vorkehrungen dabei helfen könnten, absehbare Probleme zu entschärfen.

16.2 Eine multidimensionale Agenda

16.2.1 Organisationsbedarf auf mehreren Ebenen

Die potenziellen gesundheitlichen Folgen des Klimawandels sind bereits vielfach beschrieben worden (Bunz u. Mücke 2017; siehe auch die Beiträge in diesem Report). Thematisiert werden v.a. verschärfte chronische Beeinträchtigungen (z.B. bei Atemwegserkrankungen, Herz- und Kreislaufschwäche unter Belastung, Hautschädigungen durch UV-Exposition) sowie krisenhafte Gefährdungen durch Extremwetter- bzw. Großschadensereignisse (z.B. Stürme, Überschwemmungen und starke Temperaturschwankungen) oder in Pandemien (virale oder bakterielle Infektionen sowie Bedrohungen durch Insekten, Salmonellen, etc.). Als Begleiterscheinungen der globalen Erderwärmung betreffen sie unterschiedliche Bereiche des Versorgungsgeschehens, weshalb der Klimawandel eine multidimensionale Agenda erzeugt, bei der es im Kern um zweierlei geht: „avoiding the unmanageable and managing the unavoidable“ (Vinke et al. 2020: 4).

Drei Ebenen. In Politik und Öffentlichkeit herrscht weitgehend Konsens dahingehend, dass der Klimawandel entschleunigt werden muss. Möglich würde dies auch durch Verhaltensänderungen der Bürger:innen – was den



Präventionsauftrag des Gesundheitswesens auf den Plan ruft. Doch selbst wenn hier Teilerfolge erzielt werden sollten: Ursachen und Folgen klimatischer Veränderungen (z.B. Luftverschmutzung; Hitze) feuern eine schon länger beobachtbare Entwicklung weiter an, nämlich die Zunahme chronischer und degenerativer Krankheitszustände, auch im Kontext von Multimorbidität. Die darauf ausgerichtete Versorgung hat *begleitenden* Charakter und steht für eine zweite Agendaebene. Sie beinhaltet Aufgaben des Monitorings sowie der Unterstützung von Selbstsorge, teilweise auch länger andauernde rehabilitative, betreuende oder pflegerische Leistungen. Drittens steigt besonders, aber nicht nur, für gesundheitlich Vorbelastete die Wahrscheinlichkeit von *ad hoc* auftretenden Akutversorgungsbedarfen infolge von Extremereignissen, nicht selten verbunden mit Lebensgefahren (z.B. bei hitzebedingten Schlaganfällen oder Infarkten sowie schweren Infektionen). Das erhöht den Bedarf an intensivmedizinischen Kapazitäten sowie postoperativer Versorgung.

Unterschiedliche Verwundbarkeiten. Die allgemein für den Klimawandel in Anschlag gebrachte besondere Vulnerabilität bestimmter Bevölkerungsteile (vgl. Kuhlicke 2017) schlägt auch bei Prävalenz und Inzidenz der o.g. Gesundheitsbeeinträchtigungen zu Buche. Als körperlich und psychisch besonders belastet gelten v.a. Kleinkinder sowie ältere Menschen (insbesondere die stationär oder im eigenen Haushalt, ggf. sozial isoliert, lebenden Pflegebedürftigen), ferner chronisch Kranke sowie spezielle Berufsgruppen. Die erwartbaren Belastungen weisen einen starken sozialen Gradienten auf, finden sich doch unter den Betroffenen (z.B. Menschen, die dicht gedrängt oder an der freien Luft arbeiten) überdurchschnittlich viele Personen aus unteren sozialen Schichten und mit geringe(re)n Bildungsressourcen (Lampert et al. 2019). Beim Auftreten der COVID-19-Pandemie hat sich gezeigt, wie ungleich sich die entstehenden Belastungen verteilen (siehe etwa Hövermann 2020). Essenziell ist dies nicht

zuletzt mit Blick auf abrupte Migrationsbewegungen, welche durch den Klimawandel künftig weiter angetrieben werden und den sozialen Zusammenhalt strapazieren könnten. Die gesundheitlichen Risiken des Klimawandels sind also zugleich gesellschaftliche.

16.2.2 Der infrastrukturelle Charakter der Agenda

In westlichen Wohlfahrtsstaaten ist unumstritten, dass die Gesundheitsversorgung politisch-administrativ organisiert werden muss, damit sie funktionsfähig ist und allen zur Verfügung steht. Der diesbezügliche Organisationsbedarf hat dabei in mehrerlei Hinsicht *infrastrukturellen Charakter*: Es gilt, Leistungen „für alle Fälle“ vorzuhalten – und zwar so, dass bezüglich Art und Ausmaß schwer absehbare Bedarfe möglichst universell gedeckt werden können (vgl. dazu Bode 2013: 31–35). Dies betrifft sämtliche der o.g. drei Ebenen.

Präventive Maßnahmen. Bezüglich der Entschleunigung des Klimawandels diskutiert die Fachwelt v.a. die gezielte Förderung eines umweltschonenden Lebensstils, etwa im Hinblick auf eine entsprechende Ernährungsweise (von Philipsborn et al. 2020: 76). Hier können Instanzen des Gesundheitswesens aufklärend tätig werden, etwa im hausärztlichen Bereich. Der bei den Zielgruppen- oder settingspezifischen Maßnahmen entstehende Organisationsbedarf fällt teilweise außerhalb der Krankenversorgung an, beispielsweise als Gesundheitserziehung oder -beratung. Mit solchen Anstrengungen lässt sich der Klimawandel möglicherweise bremsen – oder aber Aktivitäten der Verhaltensprävention verringern klimainduzierte Gesundheitsrisiken dadurch, dass sie Menschen befähigen, achtsam mit Vorbelastungen umzugehen oder eine drohende Risikoexposition zu verringern. Erfolgversprechend sind dabei v.a. geduldige und Rückschläge einplanende Strategien. Der Aufwand dafür ist *ex ante* schwer durchzukalulieren und lässt sich dementsprechend auch

nicht als spitz gerechnetes Leistungspaket „bestellen“. Insofern haben die Maßnahmen infrastrukturellen Charakter. Gleiches gilt auch für die Verhältnisprävention im Umfeld des Gesundheitswesens, wenngleich es hier mitunter um technische Maßnahmen geht (z.B. die Senkung von Emissionen oder die Verschattung von Gebäuden). Relevant sind überdies Programme betrieblicher Gesundheitsförderung (Knöll u. Luga-bauer 2019), etwa Hitze- oder Infektionsschutz am Arbeitsplatz und arbeitsmedizinische Prävention.

Begleitende Interventionen. Inso weit klimabedingte gesundheitliche Beeinträchtigungen bereits vorliegen, geht es immer auch darum, Betroffene begleitend zu unterstützen und beharrlich Vorkehrungen gegen Verschlechterungen zu treffen. Ähnlich wie beim Umgang mit schon länger auftretenden „Zivilisationskrankheiten“ gilt es, Leiden zu lindern oder degenerative Prozesse aufzuhalten. Auch hierbei erscheint eine Infrastruktur förderlich, die Dienste auf Dauer stellen und einem fluiden Bedarf geschmeidig anpassen kann. Konkret sind im Zuge des Klimawandels vermehrt Interventionen gefragt, die es Personen mit längerfristigen gesundheitlichen Restriktionen ermöglichen, Krankheitsfolgen zu bewältigen bzw. mit bestehenden Beeinträchtigungen schonend umzugehen. Dies betrifft neben der Langzeitpflege und der Psychiatrie auch den Bereich der Rehabilitation sowie jene Aktivitäten, die sich auf spezifische Patientengruppen beziehen (Walter u. Röding 2019), etwa Disease-Management-Programme oder auch Ansätze des „community nursing“. Die entsprechende Praxis folgt einer Public Health-Logik und beruht auf der Bereitschaft, absehbaren bzw. schon eingetretenen Belastungen unter Berücksichtigung sozialer Lebensumstände mit langem Atem und ohne die Erwartung kurzfristiger bzw. eindeutig zurechenbarer Interventionseffekte zu begehen.

Interventionen in Hochrisikosituationen bzw. bei Großschadensereignissen. In klimabedingten Krisen kann sich schlagartig ein Bedarf an massenhaf-

ter Notfallversorgung einstellen. Dabei ist essenziell, ob die für die erforderlichen *Adhoc*-Reaktionen notwendigen Kapazitäten und Kompetenzen flächendeckend verfügbar bzw. umgehend mobilisierbar sind. Gerade hier geht es also um infrastrukturelle Potenziale. Schon bei der Akutversorgung besteht häufig die Anforderung, flexibel auf Unbekanntes (Einzelfall-spezifisch, volatile Krankheitsverläufe, unkontrollierbare Gesundheitsbedingungen) zu reagieren. Planbarkeit (wie bei elektiven Eingriffen) ist eher ein Grenzfall. In Hochrisikosituationen bzw. bei Großschadensereignissen wird der entsprechende Organisationsbedarf auf die Spitze getrieben – so wie zuletzt bei der Eindämmung der Corona-Pandemie (Vinke et al. 2020). Gefordert ist dann die Fähigkeit, extreme Zuverlässigkeit („high reliability“) unter Hochdruck stabil zu gewährleisten. Wo entsprechende Interventionen ruckartig anfallen (v.a. in der Notfallmedizin), ist dies am ehesten dann gegeben, wenn bestimmte Redundanzen (z.B. Doppelbesetzungen) toleriert werden und Reserven (z.B. vakante Betten) kurzfristig aktivierbar sind. Benötigt wird eine bürokratische Basisstruktur im Bereitschaftszustand, welche den Beteiligten bei Einsätzen in hochkomplexen und unberechenbaren Situationen zugleich genügend Flexibilität einräumt (Holling 2020). Förderlich erscheint mithin ein Reglement, welches freie bzw. disponible Interventionskapazitäten vorsieht und es der Praxis zugleich ermöglicht, spontan notwendige, an (gesundheits-)fachlichen Kriterien ausgerichtete Entscheidungen zu treffen.

16.2.3 Kritische Faktoren: Steuerungsmechanismen, Koordinationsprozesse, Praxisorientierungen

Generell gelten Reaktionen auf den Klimawandel als Querschnittsaufgabe (Lehmkuhl 2020: 27), was bedeutet, dass zwar einiges „von oben“ dirigiert, vieles andere aber multilateral abgestimmt und dezentral umgesetzt werden muss.



Die moderne Gesundheitsversorgung erfolgt hochgradig arbeitsteilig und im Konzert vieler spezialisierter Instanzen, wohingegen Patient:innen eine psychische und physiologische Einheit bilden. Schon im Normalbetrieb der Krankenbehandlung erwachsen daraus mannigfaltige Friktionen – bei klimabedingten Krisen- bzw. Schadensereignissen könnten sie dramatisch werden. Gerade dann hat das Gesundheitssystem auch das Mandat, weitere Infrastruktursektoren wie etwa Bildungseinrichtungen in das „Reaktionsgeschehen“ miteinzubeziehen. Gelingende Versorgung ist in diesem Kontext extrem voraussetzungsvoll, entsprechend erscheint es aus sozialwissenschaftlicher Perspektive angezeigt, mit Blick auf die oben genannte Agenda einige kritische Faktoren genauer unter die Lupe zu nehmen und für deren (theoretisch fassbare) Komplexität zu sensibilisieren.

Die Bedeutung institutioneller Steuerungsmechanismen. Bei der arbeitsteiligen Bewältigung des Klimawandels kommt es zunächst auf die im Gesundheitssystem etablierten Lenkungsroutrinen an – konkret v.a. darauf, inwieweit Steuerung administrativ-hierarchisch (z.B. staatlich angeordnet) erfolgt, welche Rolle Verhandlungen bzw. (ggf.) kompromissförmige Abstimmung spielen (z.B. in Beratungen von Fachleuten unterschiedlicher Instanzen) und wie stark Interventionen von Marktdynamiken beeinflusst sind (z.B. dort, wo die wirtschaftliche Lage von Anbietern davon abhängt, wie viele Patient:innen sie an- bzw. abwerben). Jeder Steuerungsmechanismus ist schon für sich genommen kompliziert: Administrativ-hierarchische Steuerung kann – mitunter ungeordnet – auf mehrere Instanzen verteilt sein (z.B. im Föderalismus oder durch die Ermächtigung nicht-staatlicher Körperschaften zu Verwaltungsakten). Auch Marktsteuerung hat viele Facetten: Wettbewerb ist im Idealmodell eine Konkurrenz um bessere Bedarfsbefriedigung, realiter aber mehr oder weniger „vermachtet“: Bei Informationsasymmetrien und komplexen Produkten bzw. Dienstleistungen wird er auch

über bedarfsfremde Angebote ausgetragen (also: etwa IGEL-Leistungen; Scheininnovationen; ‚frills‘). Auch bei der Steuerung qua Verhandlung kommt es auf Machtpositionen an: Wo gleich lange Spieße fehlen, drohen Knebelverträge oder Vereinbartes wird unterlaufen. Überdies wirken im Gesundheitswesen verschiedene Steuerungsmechanismen *gleichzeitig*: Ihr Mix ist mitentscheidend dafür, ob auf Interventionsbedarfe angemessen reagiert wird. Patentlösungen gibt es hier keine, aber für einzelne Problembereiche lässt sich diskutieren, was an welcher Stelle stört und was zielführend ist (s.u.).

Koordination unter Krisenstrapazen. Gerade wenn Interventionsbedarfe plötzlich und unter Überlast auftreten, müssen Leistungen bruchlos koordiniert werden – mit klaren Vorgaben, aber auch mit Luft für Improvisation. Dies betrifft nicht zuletzt die Überleitung in andere Versorgungsstufen und zu Nachsorgeinstanzen sowie die Verknüpfung ambulanter und stationärer Interventionen. Die im deutschen Gesundheitssystem ausgebildeten Sektorengrenzen schaffen diesbezüglich – ungeachtet ihrer Ordnungsfunktionen – gewisse Hürden. Hier müssen sich Leistungserbringer aus verschiedenen Rechtskreisen untereinander verständigen, obwohl sie jeweils auf „eigene Rechnung“ arbeiten und sektorspezifischen Eigenheiten unterliegen (z.B. stationäre und hausärztliche Instanzen). Gerade im Krisenfall sind Kompetenzstreitigkeiten hochproblematisch, wie sich in der jüngeren Vergangenheit etwa bei der Organisation von Corona-Tests gezeigt hat. Auch die Koordination von Präventionsmaßnahmen sowie von begleitenden Interventionen erweist sich schon unter normalen Bedingungen als überaus anspruchsvoll – etwa wenn es darum geht, Anleitungen zur Verhaltensprävention zwischen Kliniken, Hausärzt:innen und speziellen Präventionsprojekten konsistent auszugestalten (also etwa zu vermeiden, dass jede Instanz den Patient:innen andere Signale gibt). Geht es um die Organisationsprobleme der Gesundheitsversorgung im o.g. Sinne, muss also

stets betrachtet werden, wo dies mit Koordinationsblockaden zusammenhängt (auch dazu unten mehr).

Die Rolle von Praxisorientierungen. Nicht nur im Krisenfall erscheint bedeutsam, welche Orientierungen die maßgeblichen Akteure *in ihrer Praxis* anleiten. Aus medizin-, berufs- oder auch verwaltungssoziologischer Sicht ist offenkundig, dass in zeitgenössischen Gesundheitssystemen verschiedene Orientierungen nebeneinander wirkungsmächtig sind. Tatsächlich blendet der im Mainstream der Gesundheitsökonomie oder auch Teilen der Politikwissenschaft vorherrschende Fokus auf wirtschaftliche Belange vieles von dem aus, was für das Denken, Handeln und auch Fühlen der Akteure relevant ist (für viele: Angerer et al. 2019). Natürlich werden im Gesundheitswesen Einkommensinteressen verfolgt, so wie auch die etwaige Ertrags- oder Bilanzfixierung hier tätiger Arbeitgeber das Verhalten von Beschäftigten beeinflusst (auf Kostenträger- und Anbieterseite). Ggf. erweisen sich dann *Formalziele* (z.B. Erlöserzielung oder -steigerung) als stark orientierungsstiftend. *Gleichzeitig* aber sind Kostenträger, Arbeitgeber, Beschäftigte und auch freiberufliche Leistungserbringer auf die Verfolgung von *Sachzielen* selbst- und fremdverpflichtet. Vieles ist berufskulturell fest verankert und korrespondiert mit Ansprüchen auf Gestaltungshoheiten und Sinnverwirklichung, wiewohl diese auch enttäuscht werden können (siehe etwa, für den Fall von Ärzt:innen und Sozialarbeiter:innen, Hardering u. Will-Zocholl 2019).

Grundsätzlich stellt sich die Frage, inwieweit bestehende institutionelle Vorgaben salutogene Praxis(-orientierungen) befördern. Bei der Bewältigung des Klimawandels geht es um Vorsorgen und Planen für Unwägbarkeiten bzw. um die Sicherstellung entsprechender Angebote, ferner um umfassende Bedarfsermittlung und effektives Vorsorgen bzw. Begleiten im Krankheitsfall – und häufig auch um die Optimierung all dieser Aktivitäten unabhängig davon, welche materiellen Konsequenzen dies

für die beteiligten Akteure hat. Bezüglich der oben umrissenen Agenda hängen Reaktionsmöglichkeiten und -fähigkeiten des Gesundheitssystems also mit davon ab, ob Sachziele Priorität haben bzw. wie reibungslos sie verfolgt werden können – und zwar auf allen der hier betrachteten Ebenen.

16.3 Organisationsprobleme, die im Klimawandel eklatanter werden (könnten)

16.3.1 Ressourcenfragen

Der „sanitäre Vertrag“. Angebote der Krankheitsvorsorge und -behandlung werden maßgeblich durch die Gesundheitspolitik beeinflusst, und dabei dreht sich vieles um Geldfragen. Die Finanzierungsproblematik im Gesundheitssystem beschäftigt Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit schon unter Normalbedingungen in immer neuen Facetten. Gerade im Kontext des Klimawandels macht es Sinn, sich Fragen der Ressourcenallokation im Gesundheitswesen zuzuwenden. Aus sozialwissenschaftlicher Perspektive erscheint dabei wesentlich, wie eine gegebene Gesellschaft sich prinzipiell zur Bereitstellung von Infrastrukturen und die Organisation des Zugangs zu diesen verhält. In den meisten westlichen Ländern gilt das Solidarprinzip: Es wird öffentlich garantiert, dass sämtliche Versorgungsangebote allen Bürger:innen zugänglich und von letzteren nach Maßgabe ihrer Zahlungsfähigkeit sowie unabhängig von Art und Grad der persönlichen Leistungsanspruchnahme kollektiv (vor-)finanziert sind. Hier greift eine Art „sanitärer Vertrag zwischen Staat und Bürgern“ (Illouz 2020), dessen Bedeutung zuletzt, nach Ausbruch der Corona-Pandemie, wieder stärker in das Bewusstsein der Allgemeinheit gerückt ist. Das scheinen gute Voraussetzungen für eine die Gesamtbevölkerung einbeziehende Bewältigung des Klimawandels. Der Teufel steckt allerdings im Detail.



Selektivität und Knappheit. Bei der gesellschaftlichen Mobilisierung von Ressourcen für das Gesundheitswesen schneidet dessen kurativer Kern generell besser ab als die Peripherie der Vorsorge und Krankheitsbegleitung. Insofern wirkt das Solidarprinzip selektiv: Es greift recht weit bei Akutbehandlungen, aber weit weniger universell in den Bereichen Prävention oder Begleitung (hier besteht oft keine Regelversorgung über die GKV). Überdies herrscht verbreitet Ressourcenknappheit, Bedarfe wachsen schneller als die zusammengebrachten Mittel, und das Streben nach (kollektiver) Einkommenssicherung bzw. Bilanzgewinnen – zumal im Kontext privat-gewerblicher oder auch freiberuflicher Leistungserbringung – bewegen sich im Kontext dieser Knappheit. Da Einrichtungen des Gesundheitswesens einen gesellschaftlich unangefochtenen Versorgungsauftrag wahrnehmen, müssen sie „liefern“, obwohl die Erfüllung dieses Auftrags mit den jeweils verfügbaren Ressourcen in so manchen Bereichen nur grob zu bewerkstelligen ist. Vor diesem Hintergrund entstehen schon im Normalbetrieb zahlreiche Verwerfungen. Typische Symptome sind die Nutzung von „Verschiebebahnhöfen“ durch Kostenträger oder Versorgungseinrichtungen, die Aufgaben bei anderen abladen; ferner die Engführung von Vorsorge- und Versorgungsleistungen dort, wo (Qualitäts-)Folgen zunächst latent bleiben; sowie die Tendenz, „systemrelevante“ Arbeitskräfte notorisch zu überlasten. All dies ist mit der Corona-Krise sichtbarer und auch öffentlich thematisiert worden (siehe etwa Reiners 2020). Sollten als Folge klimatischer Veränderungen zusätzliche Aufgaben entstehen, dürften sich diese Symptome spürbar verstärken.

Das „Wie“ der Ressourcenallokation. Mit den Folgen des Klimawandels müssen die Gesundheitsversorgung betreffende Ressourcenflüsse neu geordnet werden. Diesbezüglich hängt vieles auch davon ab, wie *unterhalb* der staatlich-politischen Willensbildung agiert und gedacht wird – also auf anderen Ebenen der „Governance“ des Systems (Weiland 2017). Bezogen auf die

deutschen Verhältnisse betrifft dies Instanzen wie z.B. die Krankenkassen und die gemeinsame Selbstverwaltung. Hier werden Steuerungsmechanismen mitgestaltet, was Konsequenzen hat für die Ressourcenallokation und -verwendung im System sowie für das Verhältnis zwischen ökonomischen Anreizen und nicht-ökonomischen Orientierungen bei Praxisakteuren. Erfahrungen aus dem Normalbetrieb des Gesundheitswesens sowie mit der Corona-Krise verweisen hier auf eine Reihe von Baustellen, deren Zustände auch mit bei den o.g. Instanzen vorherrschenden Ordnungsideen zu tun haben.

16.3.2 Typische Problemkonstellationen

Die Reaktionen auf den Ausbruch der Corona-Pandemie zeugten verbreitet von der Fähigkeit maßgeblicher Praxisakteure im Gesundheitssystem, ebenso spontan wie sachzielfixiert zu agieren und dabei z.B. Zuständigkeitsgrenzen oder einzelwirtschaftliche Aspekte auszublenden. In so mancher Hinsicht gelang dies jedoch nicht wegen, sondern *trotz* der institutionellen Grundordnung des Systems. Hier kamen Problemkonstellationen zum Tragen, die schon für den „normalen“ Versorgungsalltag typisch und absehbar auch für die Bewältigung des Klimawandels von elementarer Bedeutung sind.

Steuerungsprobleme bei Adhoc-Interventionen. Mit Blick auf mögliche klimabedingte „Schockereignisse“ hat die Corona-Krise sicherlich gezeigt, dass hierzulande (jedenfalls im internationalen Vergleich) stationäre Behandlungskapazitäten umfassend vorgehalten werden bzw. viele Versorgungseinrichtungen in der Lage waren, solche Kapazitäten kurzfristig zu erweitern und auf den neuen Behandlungsbedarf auszurichten. Dies verweist auf eine prinzipiell hohe Leistungsfähigkeit der Intensivmedizin sowie der Akutversorgung für extrem gefährdete Patientengruppen. Die ambulante Schiene reagierte ebenfalls flexibel, ungeachtet der Tatsache, dass beim Krisenmanagement speziell

geschaffene Versorgungszentren (Test- und Impfstationen) bevorzugt wurden. Als systemrelevant erwiesen sich ferner die Gesundheitsämter – obwohl sie während der Pandemie oft an ihre Grenzen stießen. Auch der Pflegesektor hat sich während der Krise so aufgestellt, dass der Kernbetrieb funktionierte. Allerdings: Die öffentliche Debatte über die „Held:innen“ des Corona-Alltags reflektiert das Maß an Aufopferung, das in vielen Bereichen unabdingbar war; sie sensibilisiert zugleich dafür, dass Selbstlosigkeit bis zur Erschöpfung nicht nachhaltig funktionieren kann – sie wird, wenn sie permanent eingefordert wird, schnell zu einem Notstand, aus dem man sich irgendwann z.B. qua Berufsausstieg befreit (wie bei Pflegekräften und in Teilen des Sozialwesens seit Längerem zu beobachten).

Strapazierende Formalziele. Im Kliniksektor wurde zuletzt die Kluft zwischen der faktischen Krisenreaktion der Akteure und dem, was bestehende Steuerungsmechanismen provozieren, besonders deutlich. Durch die Steuerung mit eng kalkulierten Fallpauschalen im Kontext von Wettbewerbsbeziehungen sind die Kliniken bzw. deren Personal – zumal bei knapp gehaltenen Landesinvestitionsmitteln – angehalten, viele Fälle zu akquirieren, aufwandsarm zu behandeln und schnell zu entlassen, um die Erlössituation zu optimieren (also Formalziele zu bedienen). Das mag bei elektiven Standardinterventionen reibungslos funktionieren, obwohl hier oft der Verdacht geäußert wird, dass bestimmte (z.B. endoprothetische) Leistungen bedarfsfremd sind. Dessen ungeachtet ist nun schon seit Jahren erkennbar, wie sich die Gesundheitsprofessionen im Spannungsfeld von Versorgungsauftrag und Formalzielen aufgerieben haben (vgl. Bode 2019a). Das beförderte einen schleichenden Personalverschleiß sowie defizitäre Koordinationsprozesse im Verlauf sowie nach der Krankenbehandlung. Diese Konstellation strapaziert die Infrastrukturfunktion des Sektors insofern, als die Vorhaltung von Leistungen für außergewöhnliche Ereignisse in einer solchen (Quasi-)Markt-

ordnung nicht selbstverständlich ist (vgl. Reiners 2020): Leere Betten bringen kein Geld, ausfallende Operationen verursachen Bilanzlöcher. Sind keine Reserven vorhanden, wird im Krisenfall der Sicherstellungsauftrag der Selbstverwaltung prekär, und am Ende muss die Politik schlagartig und gegen die Logik des Fallpauschalensystems nachsteuern (z.B. durch Erlösausfallzahlungen, Bundesinvestitionsmittel oder Pflegepersonalprogramme). Man durchbricht dann zeitweilig fest etablierte Steuerungsmechanismen, um sie (samt ihrer „perversem Effekte“) alsbald wieder zu reaktivieren.

Koordinationsbarrieren. Im Katastrophenfall kann – wie die Corona-Krise gezeigt hat – die plurale administrativ-staatliche Steuerung im föderalistischen Regierungssystem schnell zum Koordinationsproblem werden. Zwar wirkt der Instanzenpluralismus bei der Suche nach Problemlösungen mitunter bereichernd bzw. ausgleichend, weil hier Expert:innen *institutionell unabhängig* voneinander tätig werden und rechenschaftspflichtig sind. Doch schon im Normalbetrieb (z.B. bei der dualistischen Krankenhausfinanzierung) sorgt er regelmäßig für Komplikationen. Muss schnell auf Notsituationen reagiert werden, helfen häufig nur noch Abklärungen im Krisengipfelmodus. Im Versorgungssystem selbst werden dann die Aufgaben der Nachsorge bzw. Überleitung noch anspruchsvoller. So kann im Falle klimabedingter Eruptionen die professionellen Grenzziehungen unterfütterte Selbstbezüglichkeit von Leistungserbringern nachsorgende Instanzen extrem belasten, nicht nur wegen der Beschleunigung des Patientendurchlaufs. Diesbezügliche Barrieren sind in der Debatte zur sektorenübergreifenden Versorgung immer wieder Thema (vgl. Wolf 2020). Sie wurzeln nicht zuletzt in der weitgehenden Separierung der in den verschiedenen Sektoren geltenden Vergütungs- und Kontrollsysteme. So folgt etwa die Steuerung des Leistungsangebots in der hausärztlichen Versorgung anderen Spielregeln als im Krankenhauswesen. Hinzu kommen eigene Rechts-



kreise für die Pflege und auch die Rehabilitation. Zwar bildet der Rehabilitationssektor in Deutschland eines der wenigen interdisziplinär orientierten Segmente des Gesundheitssystems, was eine gute Voraussetzung für den Umgang mit Folgen des Klimawandels darstellt. Er ist allerdings von anderen Versorgungsbereichen abgekoppelt und gerät zudem v. a. gegenüber Kostenträgern unter zunehmenden Rechtfertigungsdruck (Bode 2019b).

Steuerungsprobleme bei Prävention und Begleitung. In Deutschland (und anderswo) organisieren die derzeitigen Regelwerke über kurative Leistungen hinausgehende Aktivitäten nur in Ansätzen als Regelversorgung. Zwar zeigt die sukzessive Etablierung von „Disease-Management“-Programmen, dass krankheitsbegleitende Aktivitäten, wenn es um Monitoring und kontinuierliche Patientenbetreuung geht, Teil des Normalbetriebs werden können. Auch ist zu beobachten, wie Instanzen des Gesundheitswesens (z.B. einzelne Krankenkassen) innovative Formate der aufsuchenden Patientenbegleitung entwickeln. Dies reflektiert ein beachtliches Professionalitätspotenzial in diesem Bereich sowie die Vitalität von Praxisorientierungen, die sich an Public-Health-Ansätzen orientieren (vgl. NPK-Präventionsbericht 2019). Allerdings erweist sich hier vieles als fragmentiert und projektlastig (allgemein dazu: Gerlinger 2018). Das gilt auch für neuere Anstrengungen im Bereich der raumorientierten, trägerübergreifenden Gesundheitsvorsorge auf kommunaler Ebene. Eine nachhaltige Einstellung des Präventionsbetriebs auf klimabedingt chronische Gesundheitsbeeinträchtigungen und ihre Abwendung bzw. Milderung ist unter solchen Bedingungen schwer zu erreichen.

„Bornierte“ Erfolgsmaßstäbe. Die noch immer starke Zurückhaltung bei der Institutionalisierung von präventiven und begleitenden Interventionen hat sicherlich mehrere Gründe: Die Verantwortung ist größtenteils Instanzen zugewiesen, die abgegrenzte Nutzergruppen bedienen und mitunter einzelwirtschaftliche Kalküle priorisieren – etwa beim betrieblichen Ge-

sundheitsmanagement oder in Präventionsprogrammen von Krankenkassen. Zudem dominiert bei den Protagonisten, wie überhaupt im gesundheitspolitischen Feld, die Erwartung an *belegbare* Effekte. Interventionen, deren Wirkungen bezüglich der Stabilisierung potenziell degenerativer Gesundheitszustände oder im Hinblick auf latente soziale Morbiditätsfaktoren nicht trennscharf zu ermitteln sind, stoßen sich an den häufig mess- und kennzifferfixierten Managementorientierungen nicht zuletzt bei Kostenträgern (vgl. Bode 2019c). „Bornierte“ Erfolgsmaßstäbe, mittels derer viele solcher Interventionen bzw. deren Finanzierungswürdigkeit beurteilt werden, frustrieren häufig Praxisorientierungen, welche darauf gerichtet sind, eine auf mehreren Ebenen beeinträchtigte Klientel nachhaltiger zu begleiten – auch im Kontext des Klimawandels. Das betrifft nicht zuletzt den Reha-Sektor und bestehende Ambitionen von Kostenträgern, dessen häufig komplexen Funktionen durch standardisierte Kennziffern abzubilden und diese finanzierungsrelevant zu machen. Daran könnte die Leistungsfähigkeit des Sektors Schaden nehmen, wenn im Zuge klimabedingter Krisen der Rehabilitationsbedarf ansteigt bzw. umfassender wird (siehe Gosch et al. 2020, für den Fall der Corona-Infektionen).

Inkonsequente Rejustierungen. Viele Versuche, Funktionsdefizite im Gesundheitssystem durch die Perfektionierung bestehender Steuerungsmechanismen zu beheben, wirken inkonsequent und produzieren neue Probleme. So haben Erfahrungen mit dem Kassenwettbewerb dazu geführt, dass der Aufwand für begleitende Interventionen gesondert im Finanzierungsregime (qua Risikostrukturausgleich) abgebildet wird. Jedoch führen solche Rejustierungen im bestehenden institutionellen Kontext immer wieder zu neuer Unruhe – z.B. weil (wie auch vom Bundesrechnungshof moniert) einige Kassen einnahmenorientiertes „Upcoding“ betreiben (also gezielt „Chroniker“ generieren bzw. rekrutieren), während ihre Konkurrenten sich benachteiligt fühlen – nachdem sie lange ge-

wohnt waren, überdurchschnittlich „gute Risiken“ zu versichern. Ein anderes Beispiel sind Versuche, die Koordination von Vorsorgeprogrammen sozialräumlich(er) auszurichten: Die Hoffnung ruht hier auf den Kommunen, die jedoch im Routinebetrieb sowie bei der Regelfinanzierung der Gesundheitsversorgung *keine* Rolle spielen (vgl. Walter u. Volkenand 2017). Die Gesundheitsämter, deren kritische Bedeutung während der Covid19-Pandemie allzu offensichtlich wurde, arbeiteten schon vorher „am Limit“ (Kuhnt 2019); auch nach den jüngst beschlossenen Reformen bleiben sie von den zentralen Playern im System der Krankenversorgung institutionell abgekoppelt. Bemühungen, dessen akutfallzentrierte Ausrichtung durch innovative Maßnahmen in den Bereichen Prävention und Versorgung chronischer Erkrankungen zu brechen, leiden zudem an der „Projektitis“ dieses Handlungsfelds. Das Ansinnen einer permanent rejustierenden Feinsteuerung führt hier dazu, dass Maßnahmen oft kleinteilig bleiben und Experimentalcharakter haben, mit der Folge von Verpuffungs- und Verzettelungseffekten. Die entsprechende Infrastruktur ist zerfasert und muss aufwändig neben dem Regelbetrieb koordiniert werden. All das sind schlechte Voraussetzungen für Reaktionen auf einen Klimawandel, der zu einer Ausweitung der entsprechenden Bedarfe führen dürfte.

Vernachlässigung „weicher Faktoren“. In fast allen Segmenten des Gesundheitswesens finden, wie von der Public-Health-Forschung vielfach aufgezeigt, für die Entwicklung gesundheitlicher Beeinträchtigungen sowie den Umgang mit diesen relevante *soziale* Faktoren meist wenig Berücksichtigung – so etwa gesundheitsbezogenes Alltagsverhalten oder Genesungsprozesse beeinflussende Lebensumstände. Selbst dort, wo gesundheitlich beeinträchtigte Menschen stationär leben, können solche Faktoren heute nur begrenzt berücksichtigt werden. Unter den gegenwärtigen Bedingungen fällt es etwa vielen Pflegeheimen trotz guten Willens schwer, aktivierende Betreuung sicherzustellen; be-

stehende Regulierungen befördern Personalknappheit sowie qualitätseinschränkende Rationalisierungsstrategien (Bode et al. 2014). Die Corona-Krise hat gezeigt, über wie wenig Reserven viele Einrichtungen im Katastrophenfall verfügen und welche extremen Belastungen Bewohner:innen wie Pflegekräfte dann ausgesetzt sein können. Kaum weniger problembehaftet erscheint der Umstand, dass viele Pflegebedürftige im häuslichen Bereich versorgt werden und Fachexpertise dabei oft nur randständig involviert ist, obwohl Gefährdungen hier massiv sein können (Fischer u. Geyer 2020). Das belastet letztlich auch die Akutversorgung.

16.4 Reaktionen auf die Herausforderungen des Klimawandels: Was ist möglich?

Moderne Gesundheitssysteme sind komplex strukturiert, schon insofern kann nicht erwartet werden, dass klimawandelsensible Vorsorge-, Betreuungs- und Versorgungsansätze zentralstaatlich durchorganisiert werden. Gefragt ist eine „Governance“, die Steuerungsmechanismen so gestaltet, dass die im Vorhergehenden umrissenen Organisationsprobleme entschärft werden. Mit Blick auf die hier bestehenden Abstimmungserfordernisse gibt es im Prinzip genügend Potenzial: Der Korporatismus im deutschen Gesundheitswesen ist besser als sein Ruf und in wesentlichen Bereichen auch noch funktionstüchtig (Schroeder u. von Winter 2019). Zwar waren viele der in den letzten Jahrzehnten lancierten Reformen auf Marktsteuerung „gepolt“, wodurch maßgebliche Instanzen von Sachzielen abgelenkt und Koordinationsprozesse erschwert wurden. Betrachtet man die Erfahrungen mit der Corona-Pandemie, so scheinen Praxisakteure aus verschiedenen Bereichen durchaus in der Lage, „im Ernstfall“ ihre Fachlichkeit über die genannten kontraproduktiven Anreize zu stellen und gemeinsame Lösungen zu suchen. Im gegebenen Kontext gelang dies allerdings nur mit einer



kräftezehrenden und längerfristig kaum flächendeckend abrufbaren Energieleistung. Insofern muss neu gedacht werden.

Neumoderation des Korporatismus. Mit der „Rückkehr des Staates“ infolge der Corona-Krise (Illouz 2020) scheint sich das Gravitationszentrum der bis dato bestehenden Steuerungsmechanismen zu verschieben. Geht es um die Bewältigung der oben skizzierten Mehrebenenagenda, ist die Rückbesinnung auf die zentrale Moderatorenrolle der öffentlichen Hand eine notwendige, aber kaum hinreichende Bedingung. Nicht der Staat allein kann es richten, sondern ein Konzert von Akteuren, die sich „an der Sache“ orientieren und Steuerungsmechanismen vorfinden, die ihnen genau dies erleichtern. Im deutschen (korporatistischen) Kontext würde das bedeuten, dass bei der Bewerkstelligung der sich stellenden Herausforderungen eine veränderte Mischung aus klare(re)n hierarchischen Impulsen und fachlicher Verständigung (zwischen Beteiligten auf Augenhöhe) zum Tragen kommt, während Anreize zu kontraproduktivem Wettbewerbsverhalten gedämpft würden. Ein reibungsärmerer Föderalismus mit verbindlichen Commitments sowie längerfristig orientierte und für die o.g. Organisationsprobleme sensiblere Verständigungsprozesse zwischen nicht-staatlichen Instanzen wären ebenfalls zielführend. Das gilt für die Kostenträger (untereinander) und die Parteien der gemeinsamen Selbstverwaltung gleichermaßen. All dies könnte bei der Vorbereitung auf die Folgen des Klimawandels neue Energien freisetzen – etwa wenn es darum geht, eine stärker intersektorale Versorgungsperspektive zu entwickeln (Wolf 2020) oder das „Ressort-(Silo-)Denken“ (Lehmkuhl 2020: 25) innerhalb des Gesundheitswesens zurückzudrängen.

Mehr als nur Medizin. Allgemein wird der Umgang mit Klimaveränderungen oft als Doppelagenda der Abschwächung und Anpassung beschrieben (Augustin u. Anders 2020: 18). In beiden Dimensionen gleicht vieles dem Bohren dicker Bretter, und bei beiden reichen rein medizinische Lösungen nicht aus. So treffen Prä-

ventionsbemühungen bei der Ernährungsumstellung auf gesellschaftliche Verhältnisse, die sie notorisch behindern. Beispielsweise locken Teile der Konsumgüterindustrie nach wie vor mit klimaschädlichen Produkten. Soweit es um klimabezogene Gesundheitskompetenzen geht, wird soziale Unterprivilegierung (als Armutsgefährdung oder Verharren in prekärer Arbeit) zu einem großen Hindernis. Besonders hier sind Aktivitäten *jenseits* der eigentlichen Krankenbehandlung gefragt, z.B. solche, die international unter dem Stichwort „social prescribing“ (Drinkwater et al. 2019) diskutiert werden – also die systematische Weiterweisung von Patient:innen an Einrichtungen des Sozialwesens, die sich den o.g. weichen Faktoren für Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. dem destruktiven Umgang mit ihnen widmen (z.B. über aufsuchende, oft settingspezifische Beratungs- und Unterstützungsdienste). Relevant erscheint dies für präventive wie für begleitende Interventionen. Gerade bei solchen Aktivitäten wären der Verzicht auf die Praxis einengende, auf einzelne Kennziffern fixierte „Leistungsprüfungen“ sowie erweiterte Spielräume für aktivierende Maßnahmen z.B. im Bereich der Rehabilitation weiterführend.

Koordination und Steuerung mit weniger Konkurrenz. Im Bereich der Vorsorge wäre es sinnvoll, die kommunale Ebene zum Regiezentrum der entsprechenden Aktivitäten zu machen (Lehmkuhl 2020: 29). Trotz einiger neuerer Gehversuche in diese Richtung etwa im Bereich der Altenhilfe scheint dies unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine Herkulesaufgabe. Das Mindeste wäre eine institutionalisierte Koordination der verstreut agierenden Praxisakteure etwa durch Gesundheitskonferenzen (Holledderer 2015), neben der Stärkung der Gesundheitsämter und ihrer bevölkerungsmedizinischen Funktionen. Geht es um kriseninduzierte Ad-hoc-Interventionen, so hat die Corona-Pandemie gezeigt, dass gerade hier ein alternatives Arrangement von Steuerungsmechanismen angezeigt ist. Es gilt, Verteilungskämpfe einzuhegen und Praxisorientierungen zu stützen,

die Sach- und nicht Formalziele fokussieren. Im Krankenhaussektor z. B. wäre die von Staat und Kostenträgern lange Zeit verfolgte Strategie, Leistungserbringer einem (vermeintlich kostensparenden) Verdrängungs- oder Rationalisierungswettbewerb auszusetzen, zu überdenken. So unübersichtlich vorliegende Evaluationsergebnisse auch sein mögen (vgl. Milstein u. Schreyögg 2020): Das DRG-Regime hat viele Schattenseiten, weshalb aktuell Umstellungen im Gespräch sind (z. B. sog. Vorhaltepauschalen für Abteilungen mit unsicherer Kostendeckung). Auch wird neu zu diskutieren sein, inwieweit dezidiert renditeorientierte Anbieter überhaupt Infrastrukturaufgaben der Gesundheitsversorgung wahrnehmen sollten. Gerade diese Anbieter haben im Kliniksektor Managementmodelle vorangetrieben, welche den Versorgungsauftrag bei der Krankenbehandlung eng(er) führen, und gerade sie haben in der Vergangenheit mit massiven Rationalisierungsmaßnahmen einen ungesunden Konkurrenz- bzw. Kostendruck auf andere Versorger ausgeübt. Dieser wiederum hat dazu beigetragen, dass fast überall Reserven abgebaut, das Pflegepersonal knapp(er) gehalten und Ärzt:innen permanent überlastet wurden. All dies verträgt sich schlecht mit den Erfordernissen einer klimawandelsensiblen Organisation des Gesundheitswesens.

Neue Infrastrukturpolitik. Eine abgestimmte und als Querschnittsaufgabe organisierte Reaktion auf den Klimawandel bedarf u. a. einer offenen Wissenskommunikation quer zu Trägern und Versorgungsstufen sowie in der Fachöffentlichkeit (Lehmkuhl 2020). Informationen müssen frei kursieren, deren strategische bzw. einzelwirtschaftlich motivierte Vorenthaltung schadet. Überdies lassen sich kritische Interventionskapazitäten am besten sicherstellen, wenn der Tagesbetrieb nicht davon getrieben ist, Patient:innen anzuwerben und Erlöse zu generieren. Die Steuerungsmechanismen sind z. B. im Kliniksektor so zu gestalten, dass die „Bildung von Reserven (z. B. zusätzliche Intensiv- und Infektionsbereiche, Notfallmedizin)“

gewährleistet wird (Leopoldina 2020: 6). Ob die Krisenreaktionsfähigkeit des Gesundheitswesens mit erheblich weniger, aber größeren und spezialisierteren Krankenhäusern erhalten bliebe, wird kontrovers diskutiert (skeptisch dazu: Hanisch et al. 2020). Die Vorstellung einer weiteren Ausdünnung der Kliniklandschaft erscheint mit der Erfahrung der Corona-Krise jedenfalls eher kontraintuitiv; im Übrigen können die beharrlichen Präferenzen einer an sicherer Nah(grund)versorgung interessierten Bevölkerungsmehrheit nicht einfach ignoriert werden. Jedoch wäre es bei einer stärker konsensuell koordinierten Versorgung plausibel, Parallel- bzw. Konkurrenzangebote innerhalb von Ballungsräumen zusammenzuführen. Kurzum: Es geht um die Stärkung des Infrastrukturcharakters der Gesundheitsversorgung, die Zurückdrängung schädlicher Marktanreize und die Anstiftung zu einer sachzielorientierten Koordination von abgestuften Leistungen der Begleitung, Behandlung und Rehabilitation von Geschädigten des Klimawandels. Ungeachtet von Details ist mithin das gefragt, was heterodoxe Wirtschaftswissenschaftler:innen wie Froud et al. (2019) eine „neue Infrastrukturpolitik“ nennen und als Kern einer „Fundamentalökonomie“ begreifen, welche für die Funktionsfähigkeit des Gemeinwesens und den sozialen Ausgleich grundlegende Leistungen nicht erwerbs-, sondern gemeinwirtschaftlich organisiert.

Mehr Engagement von starken Schultern. Ohne einen größeren volkswirtschaftlichen Aufwand ist eine umfassende Vorbereitung auf die gesundheitlichen Implikationen des Klimawandels wohl kaum zu haben. Die in tendenziell post-materialistischer werdenden Gesellschaften schon länger beobachtbare Verschiebung von Wohlstandsressourcen in Richtung Gesundheit und immaterielle Lebensqualität ist dem sicher zuträglich. Allerdings wäre zu diskutieren, welche Bevölkerungsgruppen dabei gezielt unterstützt werden sollen und wer welchen Anteil an den entstehenden Kosten trägt. Soll das Solidarprinzip erhalten oder – z. B. mit Blick auf



Bedarfe einer ungleichheitssensibleren Gesundheitsförderung – ausgebaut werden, wird man dafür werben müssen, dass starke Schultern mehr tragen, d.h. die überdurchschnittlich wohlhabenden Teile der Bevölkerung einen auch relativ höheren Finanzierungsbeitrag akzeptieren.

Literatur

- Angerer, P., Gündel, H., Brandenburg, S., Nienhaus, A., Letzel, S., Nowak, D. (Hg.) (2019). *Arbeiten im Gesundheitswesen. Psychosoziale Arbeitsbedingungen – Gesundheit der Beschäftigten – Qualität der Patientenversorgung*. Landsberg am Lech: ecomed.
- Augustin, J. und Anders, V. (2020). Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit. In: *G+G Wissenschaft* 20 (1): 15–21.
- Bode, I. (2013). *Die Infrastruktur des postindustriellen Wohlfahrtsstaats. Organisation – Wandel – Hintergründe*. Wiesbaden: Springer VS.
- Bode, I. (2019a). DRGs oder Markt? Zum Ambivalenzdruck im deutschen Krankenhauswesen, in: Braun, Bernhard, Dieterich, Anja, Gerlinger, Thomas und Simon, Michael (Hg.), *Geld im Krankenhaus – Eine kritische Bestandsaufnahme des DRG-Systems*. Wiesbaden: Springer VS 2019: 47–65.
- Bode, I. (2019b). The post-corporatist rehabilitation system in Germany: High potential, critical moments, in: Harsløf, Ivan, Poulsen, Ingrid & Larsen, Kristian (Hg.), *New dynamics of disability and rehabilitation: Interdisciplinary perspectives*. Basingstoke, Palgrave Macmillan: 43–68.
- Bode, I. (2019c). Let's count and manage – and forget the rest. Understanding numeric rationalization in late modern welfare states. In: *Historical Social Research* 44 (2): 131–144.
- Bode, I., Brandenburg, H., und Werner, B. (2014). Wege zu einer neuen Pflegeinfrastruktur. Eine Reformagenda für die Langzeitversorgung. In: *Pflege und Gesellschaft* (19) 3: 268–275.
- Bunz, M. und Mücke, H.-G. (2017). Klimawandel – physische und psychische Folgen. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60: 632–639.
- Drinkwater, C., Wildman, J., und Moffatt, S. (2019). Social prescribing. In: *British Medical Journal* 364: 1285 (online).
- Fischer, B. und Geyer, J. (2020). Pflege in Corona-Zeiten: Gefährdete pflegen besonders Gefährdete. In: *DIW aktuell* 38/28.4.2020.
- Froud, J., Moran, M., Johal, S., Salento, A., Williams, K. (2019). *Die Ökonomie des Alltagslebens. Für eine neue Infrastrukturpolitik*. Berlin, Suhrkamp.
- Gerlinger, T. (2018). Der Public Health-Gedanke in der Gesundheitsspolitik. In: *Public Health Forum* 26 (3): 198–200.
- Gosch, M., Singler, K., Kwetkat, A., und Heppner, H.-J. (2020). Geriatrie in Zeiten von Corona. In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 53 (3): 228–232.
- Hanisch, E. et al. (2020). Krankenhausschließungen – eine deutsche Diskussion inmitten der Pandemie. In: *Hessisches Ärzteblatt* 81 (9): 484–490.
- Hardering, F. und Will-Zocholl, M. (2019). Zwischen Sinngestaltung und Sinnbewahrung – Aneignungsweisen hochqualifizierter Dienstleistungsarbeit. In: *Berliner Journal für Soziologie* 29(2): 273–298.
- Holleder, A. (2015). Gesundheitskonferenzen in Deutschland: Ein Überblick. In: *Das Gesundheitswesen* 77 (3): 161–167.
- Holling, J. M. (2020). Zum Verständnis organisationaler Zuverlässigkeit von Einsatzorganisationen. Einsatzorganisationen. In: Kern, E.-M., Richter, G., Müller, J. C., und Voß, F.-H. (Hg.). *Erfolgreiches Handeln in Hochrisikosituationen*. Wiesbaden, Gabler: 59–78.
- Hövermann, A. (2020). Soziale Lebenslagen, soziale Ungleichheit und Corona – Auswirkungen für Erwerbstätige. *WSI Policy Brief* 44, Düsseldorf, Juni 2020.
- Illouz, E. (2020). Acht Lehren aus der Pandemie. In: *Die ZEIT* Nr. 26: 53.
- Knöll, K. und Lugbauer, P. (2019). Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Gefährdungsbeurteilung. Zukunftsorientierte Ausrichtung von Unternehmen. In: Simmer, M. und Graßl, W. (Hg.), *Betriebliches Gesundheitsmanagement mit System*. Berlin, Springer: 41–50.
- Kuhlicke, C. (2017). Soziale Verwundbarkeit und die Folgen des Klimawandels. In: Marx, A. (Hg.), *Klimaanpassung in Forschung und Politik*. Wiesbaden, VS: 105–117.
- Kuhnt, F. (2019). Der Öffentliche Gesundheitsdienst am Limit – Sparen am ÖGD schadet dem gesamten Gesundheitssystem. In: *G&S Gesundheits- und Sozialpolitik* 73 (3): 52–55.
- Lampert, T., Hoebel, J., Kuntz, B. und Waldhauer, J. (2019). Soziale Ungleichheit und Gesundheit. In: Häring, R. (Hg.), *Gesundheitswissenschaften*. Wiesbaden, Springer VS: 155–164.
- Lehmkuhl, D. (2020). Klimawandel und Gesundheit: Initiativen, Akteure und Handlungsfelder. In: *G+G Wissenschaft* 20 (1): 23–30.
- Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften (2020). *4. Ad-hoc-Stellungnahme – Coronavirus-Pandemie: Medizinische Versorgung und patientennahe Forschung in einem adaptiven Gesundheitssystem*. Halle, 27. Mai 2020.
- Milstein, R. und Schreyögg, J. (2020). Empirische Evidenz zu den Wirkungen der Einführung des G-DRG Systems. In: Klauber, J., Geraedts, M., Friedrich, J., Wasem, J. und Beivers, A. (Hg.). *Krankenhausreport 2020*. Wiesbaden, Springer VS: 25–39.
- NPK-Präventionsbericht (2019). *Erster Bericht der Nationalen Präventionskonferenz*. GKV-Spitzenverband, Berlin.
- von Philipsborn, P., Wabnitz, K., Sell, K., Maintz, E., Rehfuess, E. und Gabrysch, S. (2020). Klimapolitik als Chance für bessere Gesundheit. In: *Public Health Forum* 28(1): 75–77.
- Reiners, H. (2020). Kein Weiter so im Medizinbetrieb. In: *Gesundheit & Gesellschaft* 23(7–8): 30–37.
- Schroeder, W. und von Winter, T. (2019). Korporatismus im deutschen Gesundheitswesen. Voraussetzungen, Bedingungen und Entwicklungen. In: *Sozialer Fortschritt* 58 (6–7): 477–496.
- Vinke, K., Gabrysch, S., Paoletti, E. Paoletti, Rockström, J. und Schellnhuber, H.-J. (2020). Corona and the Climate: A Comparison of Two Emergencies. In: *Global Sustainability* 3, e25: 1–7.

- Walter, U. und Röding, D. (2017). Zielgruppenspezifische Prävention und Gesundheitsförderung. In: Haring, Robin (Hg.), Gesundheitswissenschaften. Wiesbaden, Springer VS: 391–402.
- Walter, U. und Volkenand, K. (2019). Kommunale Prävention und Gesundheitsförderung in Deutschland: Pflichten, Rechte und Potenziale im Kontext der kommunalen Daseinsvorsorge. In: Das Gesundheitswesen 79(4): 229–237.
- Weiland, S. (2017). Anpassung an den Klimawandel aus Governance-Sicht. In: Marx, Andreas (Hg.), Klimaanpassung in Forschung und Politik. Wiesbaden, VS: 91–101.
- Wolf, S. (2020). Vom Nutzen sektorenübergreifender Versorgung. In: Hahn, Ursula und Kurscheid, Clarissa (Hg.), Intersektorale Versorgung. Best Practices – erfolgreiche Versorgungslösungen mit Zukunftspotenzial. Wiesbaden, Springer VS: 3–10.



Prof. Dr. Ingo Bode

Seit 2009 Universitätsprofessor im Fachgebiet Sozialpolitik mit Schwerpunkt organisationale und gesellschaftliche Grundlagen im Fachbereich Humanwissenschaften der Universität Kassel (Institut für Sozialwesen). Zuvor Lehr- und Forschungstätigkeiten an den Universitäten Duisburg-Essen und Wuppertal sowie an diversen ausländischen Hochschulen (in Kanada, Frankreich und Großbritannien). Arbeitsschwerpunkte: Arbeit und Organisation im Sozial- und Gesundheitswesen; politische Soziologie wohlfahrtsstaatlicher Systeme auch in international vergleichender Perspektive.

IV

Daten und Analysen

17 Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen

Caroline Schmuker, Ghassan Beydoun und Christian Günster

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-17, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Der Beitrag berichtet für das Jahr 2018 die Häufigkeit von Erkrankungen und Behandlungen in Deutschland. Die Analysen basieren auf standardisierten Abrechnungsdaten von AOK-Versicherten. Dargestellt werden administrative Behandlungsprävalenzen nach den dreistelligen Diagnose-schlüsseln und den Diagnoseobergruppen des ICD-10. Zusätzlich werden in den vier ausgabenwirksamsten Leistungssektoren (stationäre Versorgung, ambulant-ärztliche Versorgung, Arzneimittel- und Heilmittelversorgung) Kennziffern zur Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen berichtet.

This article reports the frequency of diseases and treatments in Germany for 2018. Analyses are based on standardised administrative claims data of the Local Health Insurance Funds (AOK). The article presents administrative prevalence rates according to three character ICD-10 diagnosis codes and ICD-10 main groups. In addition, key figures on the utilisation of health services in the four most cost-intensive sectors of the health care system are reported separately: inpatient care, outpatient care, pharmaceutical and remedy care.

17.1 Einführung

Das Wissenschaftliche Institut der AOK (WIdO) stellt regelmäßig seit 2011 mit dem Versorgungs-Report Kennzahlen zum Krankheitsgeschehen und zur Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen zur Verfügung. Der aktuelle Beitrag stellt administrative Behandlungsprävalenzen nach den dreistelligen ICD-10-Diagnoseschlüsseln und nach übergreifenden Diagnoseobergruppen bezogen auf das Jahr 2018 dar. Die Diagnoseinformationen werden ergänzt um Hospitalisierungsraten, sodass die Bedeutung einer Erkrankung für die stationäre Versorgung transparent wird. Darüber hinaus nimmt der Versorgungs-Report die Versorgung der Versicherten innerhalb der vier Leistungsbereiche stationäre Versorgung, ambulante vertragsärztliche Versorgung, Arznei- und Heilmittelversorgung in den Blick. Alters- und geschlechtsspezifische Kennzahlen der Inanspruchnahme werden bundesweit sowie in regionaler Differenzierung (kartografisch) ausgewiesen. In Ergänzung zu diesem Kapitel bietet der Versorgungs-Report ta-

bellarische Übersichten über die Behandlungshäufigkeiten von mehr als 1.500 dokumentierten Einzeldiagnosen bzw. 268 Diagnoseobergruppen sowie weitere Einzelauswertungen, die als elektronischer Anhang zu diesem Buchkapitel zur Verfügung gestellt werden¹.

Darstellung und Analysen im Versorgungs-Report sind personenbezogen, d. h. Leistungs- oder Diagnoseinformationen aus verschiedenen Sektoren werden versichertenbezogenen (anonymisiert) zusammengeführt und ausgewertet. Erst der Personenbezug erlaubt die Schätzung von epidemiologischen Kennzahlen wie Prävalenzen und Inzidenzen. Fallbezogene Statistiken dagegen (z. B. die Krankenhausstatistik des Statistisches Bundesamtes) ermöglichen zwar Aussagen zur Zahl der Krankheitsfälle, lassen aber keinen Rückschluss auf die Zahl der Personen mit einer Erkrankung oder die Häufigkeit der Krankenhausaufenthalte eines Patienten zu.

Die vorliegenden Auswertungen basieren auf den Routinedaten von AOK-Versicherten im Jahr 2018, die mehr als ein Drittel der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) und mehr als 30% der deutschen Bevölkerung repräsentieren². Kennzahlen in diesem Beitrag sind hinsichtlich Alter und Geschlecht standardisiert und auf die deutsche Wohnbevölkerung des Jahres 2018 hochgerechnet.

Der Beitrag gliedert sich in die Beschreibung der Datengrundlage (s. Kap. 17.2) Methoden (s. Kap. 17.3) und Limitationen bei der Nutzung der AOK-Versichertendaten (s. Kap. 17.4) sowie die Darstellung der Kennzahlen zur Behandlungshäufigkeit (s. Kap. 17.5) und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen (s. Kap. 17.6) im Jahr 2018.

17.2 Datengrundlage

17.2.1 Abrechnungsdaten

Datengrundlage für diesen Beitrag sind die bundesweiten anonymisierten Abrechnungsdaten aller AOK-Versicherten mit mindestens einem Versichertentag im Auswertungsjahr. Für die präsentierten Querschnittsanalysen des Jahres 2018 liegen Angaben von 27,8 Mio. Versicherten vor (s. Abb. 1). Die im Folgenden dargestellten Kennzahlen werden jeweils nach Geschlecht, sowie differenziert für die Altersgruppen Kinder und Jugendliche (1 bis 17 Jahre), mittlere Erwachsene (18 bis 59 Jahre) und ältere Erwachsenen (60 Jahre und älter) aufbereitet.

Für diesen Beitrag wurden die folgenden Abrechnungs- und Stammdaten versichertenbezogen (anonymisiert) zusammengeführt und ausgewertet:

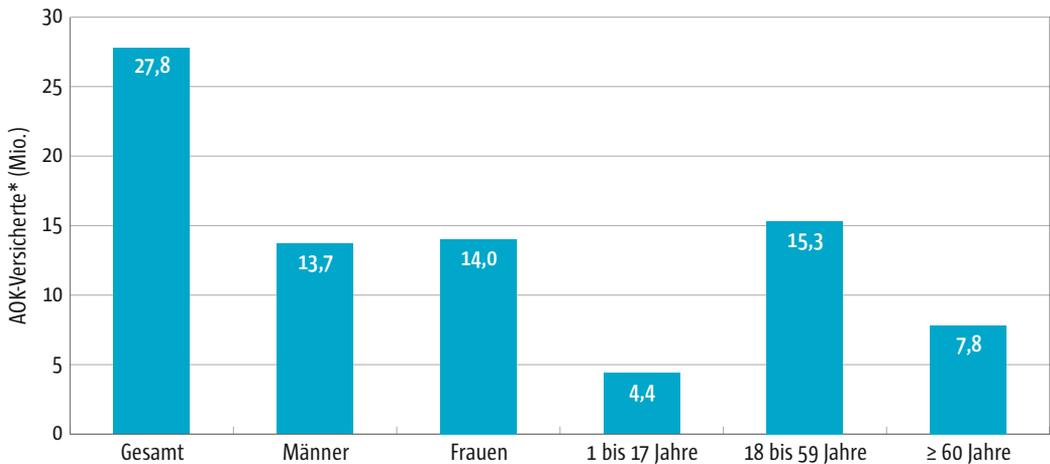
- Versichertenstammdaten (nach § 288, SGB V)
- ambulante vertragsärztliche Versorgung (nach § 295, Abs. 2, SGB V)
- Arzneimittelabrechnung (nach § 300, Abs. 1, SGB V)
- stationäre Versorgung (nach § 301, Abs. 1, SGB V)
- Heilmittelversorgung (nach § 302, Abs. 1, SGB V)

Die Daten geben Auskunft über die in Deutschland behandelten Erkrankungen, so wie sie von Ärzten dokumentiert werden, und darüber, welche therapeutischen und diagnostischen Leistungen in der Behandlung erbracht wurden. Dabei können verschiedene Institutionen und Personen (Kliniken und niedergelassene Ärzte) beteiligt gewesen sein.

Die folgenden Abschnitte beschreiben den sozialrechtlichen Rahmen der Leistungsdatenübermittlung und präzisieren die Kriterien, die für die Datenselektion in diesem Beitrag angewendet wurden.

1 Auffindbar im Open Access-Portal der Medizinisch Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft: <https://www.mwv-open.de/site/books/e/10.32745/9783954666270/>

2 Laut Mitgliederstatistik des Bundesministeriums für Gesundheit gab es im Jahresdurchschnitt 2018 26,5 Mio. AOK-Versicherte und 72,8 Mio. GKV-Versicherte (jeweils inkl. mitversicherter Angehöriger). Stand der deutschen Wohnbevölkerung am 31.12.2018 war laut Statistischem Bundesamt 83,0 Mio.



* Basierend auf allen Personen, die im Jahr 2018 mindestens einen Tag bei der AOK versichert waren. Umfasst daher mehr Personen als der Jahresdurchschnitt 2018 der Mitgliederstatistik des BMG (KM1/13). Zielpopulation für die folgenden Auswertungen.

Abb. 1 AOK-Versicherte nach Geschlecht und Altersgruppen im Jahr 2018 (in Mio.)

Arzneimittelversorgung

Gemäß § 300 SGB V werden Daten zu allen verschreibungspflichtigen Fertigarzneimitteln und Nicht-Fertigarzneimitteln übermittelt, die von einem niedergelassenen Vertragsarzt auf Rezepten zulasten der GKV verordnet und über eine öffentliche Apotheke abgerechnet wurden. Dabei werden auch Angaben zum Apothekenverkaufspreis, zum Verordnungs- und Abgabedatum sowie zum verordnenden Arzt dokumentiert. Das Verordnungsdatum bestimmt die Zuordnung der Leistung zum Berichtszeitraum. Ausgabenschätzungen für Arzneiverordnungen zulasten der GKV basieren auf dem jeweiligen Bruttoumsatz inklusive Zuzahlung durch den Versicherten (Apothekenverkaufspreis). Fertigarzneimittel lassen sich durch die sogenannte Pharmazentralnummer eindeutig einem Handelsnamen, dem Hersteller, der Wirkstoffstärke sowie der Packungsgröße zuordnen. Auf Basis der Pharmazentralnummer werden im WiDO die Zuordnungen von Fertigarzneimitteln zu den jeweiligen Wirkstoffgruppen vorgenommen (vgl. Kap. 17.2.2). Für die Analysen in diesem Beitrag wurden im Wesent-

lichen alle Verordnungen von Fertigarzneimitteln, Rezepturen, Diagnostika und Substitutionstherapie-Präparate berücksichtigt.

Stationäre Versorgung

Im Rahmen der stationären Versorgung von GKV-Versicherten übermitteln die Kliniken je Behandlungsfall Angaben zum Versicherten, zum Aufnahme- und Entlassungsdatum, Diagnosedaten sowie den Rechnungsbetrag. Die Entlassungsdiagnosen – obligate Hauptdiagnose und fakultative Nebendiagnose(n) – sind im Rahmen der Krankenhausabrechnung rechnungsbegründend und werden daher systematisch erfasst. Für die Analysen wurden alle abgeschlossenen voll- und teilstationären Aufenthalte ausgewertet. Leistungen wurden gemäß Entlassungsdatum dem Behandlungsjahr zugeordnet. Zur Bestimmung von Behandlungsprävalenzen wurde auf die Haupt- und Nebendiagnose der stationären Behandlung zurückgegriffen. Der primäre Behandlungsanlass wurde über die Hauptdiagnose erfasst.

Ambulante Versorgung

Grundlage sind die von einem ambulant tätigen Vertragsarzt durchgeführten Leistungen des GKV-Leistungsbereichs. Diese Leistungen werden, sofern es sich um kollektivvertragliche Leistungen handelt, einmal pro Quartal über eine der 17 regional zuständigen Kassenärztlichen Vereinigungen abgerechnet und die Daten anschließend an die Krankenkassen weitergeleitet. Als ein Behandlungsfall gilt die Konsultation eines Versicherten bei einem Vertragsarzt in einem Quartal; dabei ist die Anzahl der Praxisbesuche im Quartal unerheblich. Eine Person erzeugt mehr als einen Behandlungsfall pro Quartal, wenn sie im selben Quartal mehrere Ärzte aufsucht. Zu jedem Abrechnungsfall werden quartalsweise die Behandlungsdiagnosen mit Angabe der Diagnosesicherheit (gesicherte Diagnose, ausgeschlossene Diagnose, Verdachtsdiagnose, symptomloser Zustand) kodiert. Gemäß § 295 SGB V sind in beiden Fällen die amtlichen und aktuell gültigen Fassungen des DIMDI zu nutzen (vgl. Kap. 17.2.2). Zur Ermittlung der hier dargestellten Behandlungsprävalenzen werden ausschließlich gesicherte Diagnosen herangezogen. Es werden Behandlungsdiagnosen aus kollektivvertraglicher und selektivvertraglicher Versorgung berücksichtigt.

Neue Zuordnung der Behandlungsfälle zu EBM-Facharztgruppen

Mit der vorliegenden Ausgabe des Versorgungs-Reportes wird das Verfahren zur Auswertung der fachärztlichen Inanspruchnahme umgestellt. Im bisherigen Verfahren wurden Behandlungsfälle über die Betriebsstättennummer (BSNR) des Vertragsarztsitzes einer Facharztgruppe zugeordnet. Die BSNR ermöglicht es, über eine Schlüsseltablelle (nach Richtlinie der Kassenärztlichen Bundesvereinigung [KBV]) die Facharztgruppe des abrechnenden Arztes eindeutig zu ermitteln. Arztpraxen (Betriebsstätten) in denen mehrere Ärzte verschiedener

Facharzttrichtungen tätig sind (z.B. als Gemeinschaftspraxis organisierte Facharztpraxen) wurden in der bisherigen Darstellung der Kategorie „fachgruppenübergreifende Facharztpraxen“ zugeteilt. Allerdings nimmt der Anteil der Personen, die in fachübergreifenden Facharztpraxen behandelt werden, stetig zu (2010: 47,3%; 2016: 52,1%), was zu einer zunehmenden Unterschätzung der Behandlungsraten bei einzelnen Facharztgruppen führt. Das betrifft insbesondere Facharztgruppen, die häufig in Gemeinschaftspraxen tätig sind, darunter z.B. die fachärztlichen Bereiche Orthopädie und Chirurgie.

Das neue Verfahren zur Bestimmung der Facharztgruppe setzt auf den Grund- und Versichertenpauschalen der jeweiligen Fachärzte gemäß dem EBM-Katalog auf. Die EBM-Facharztgruppen werden für die Darstellung im Versorgungs-Report zu 16 Facharztgruppen zusammengefasst (EBM-Fachgruppenzuordnung s. elektronischer Anhang). Wie zuvor werden Leistungen aus Kollektiv- und selektivvertraglicher Versorgung berücksichtigt. Bei der neuen Auswertung nach EBM-Facharztgruppen sind einige Besonderheiten zu berücksichtigen:

- Die Kategorie „Hausarzt“ ersetzt die Facharztgruppe der „Allgemeinmediziner“. Es werden alle Behandlungsfälle gezählt, die zur Abrechnung einer hausärztlichen Grundpauschale geführt haben. Insofern können auch andere Facharztgruppen (z.B. Kardiologen) an der Versorgung beteiligt gewesen sein, sofern sie jeweils eine Zulassung oder Ermächtigung zur Teilnahme an der hausärztlichen Versorgung hatten.
- Die Kategorie „Notfall“ ist ein gesonderter vertragsärztlicher Versorgungsbereich, an dem sich grundsätzlich alle EBM-Facharztgruppen über den kassenärztlichen Bereitschaftsdienst sowie die Notfallambulanzen der Krankenhäuser beteiligen.
- In der Kategorie „Weitere vertragsärztliche Leistungen ohne Versicherten- bzw. Grundpauschale“ werden Behandlungsfälle gezählt, für die keine Versicherten- bzw. Grundpauschale und keine ambulanten Notfalleleistungen nach dem

EBM-Kapitel 1.2 abgerechnet wurden. Hierbei handelt es sich oftmals um Leistungen ohne Versicherterkontakt, darunter bestimmte Laborleistungen oder Sachkosten (z.B. Arztbriefe).

- In der Kategorie „Fälle mit mehreren Grundpauschalen“ (s. Abb. 10) werden Behandlungsfälle mit mehr als einer Grund- bzw. Versichertenpauschale gezählt. Dabei handelt es sich häufig um labormedizinische Leistungen in Verbindung mit einer gynäkologischen Konsultation. Diese Behandlungsfälle werden in der Darstellung gesondert ausgewiesen.

Heilmittelversorgung

Basis sind Heilmittelleistungen – also Physiotherapie, Ergotherapie, Podologie und Sprachtherapie –, die von einem niedergelassenen Vertragsarzt zulasten der GKV verordnet und von einem zur Heilmittelversorgung zugelassenen Leistungsanbieter erbracht werden. Indikationen, die zur Verordnung eines Heilmittels führen, werden nach dem im jeweiligen Auswertungsjahr gültigen Heilmittelkatalog klassifiziert. Die erbrachten Leistungen lassen sich über eine fünfstellige bundeseinheitliche Heilmittelpositionsnummer eindeutig zuordnen. Bei der Abrechnung erhalten die Krankenkassen außerdem die auf der Heilmittelverordnung dokumentierten Angaben zum Versicherten (Alter, Geschlecht, Wohnort), zum verordnenden Arzt, zum Verordnungsdatum sowie zum Leistungserbringer. Bei Zählung der Leistungen wurden nur therapeutische Leistungen berücksichtigt (ohne Zusatzleistungen).

17.2.2 Klassifikationen

Klassifikation von Erkrankungen

Die für Deutschland modifizierte Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten (ICD-10-GM) ist die amtliche Klassifikation für Diag-

nosen in der ambulanten und stationären Versorgung in Deutschland. Für die Analysen des Beitrags wird die Ausgabe der ICD-10-GM für das Jahr 2018 genutzt (DIMDI 2018a). Die vorliegenden Analysen basieren auf den ICD-Schlüsselnummern der Haupt- und Nebendiagnosen stationärer Behandlungen sowie den gesicherten Diagnosen aus der ambulanten vertragsärztlichen Versorgung. Im vorliegenden Kapitel erfolgte die Auswertung der Behandlungshäufigkeiten auf der Basis von dreistelligen Einzeldiagnosen (ICD-10-Dreisteller). In Ergänzung hierzu werden Behandlungshäufigkeiten auf Ebene der ICD-10-Diagnoseobergruppen im elektronischen Anhang zur Verfügung gestellt. Abweichend vom ICD-10-Katalog werden in diesem Beitrag Obergruppen weiter unterteilt, um zwischen akuten Zuständen und i.d.R. nicht behandlungsbedürftigen Erkrankungen zu differenzieren. Auf diese Weise sind 268 Obergruppen entstanden – die Modifikationen sind in der Auswertung mit einem Sternchen (*) am ICD-Code gekennzeichnet

Klassifikation von Arzneimittelwirkstoffen

Wirkstoffe von Fertigarzneimitteln werden auf der Basis der eindeutigen Pharmazentralnummer nach der Anatomisch-Therapeutischen Klassifikation (ATC) verschlüsselt. Für diesen Beitrag wird der ATC-Index des GKV-Arzneimittelindex des jeweiligen Auswertungsjahres (hier 2018) verwendet, der Spezifizierungen für den deutschen Arzneimittelmarkt enthält und in dem auch die definierten Tagesdosen (DDD) festgelegt sind (DIMDI 2018b). Das WIdO passt diese Systematik kontinuierlich an die Besonderheiten der Versorgungssituation in Deutschland an (Fricke et al. 2018)

Raumordnungsregionen

Als Bezugsrahmen für die großräumigen Analysen von Diagnose- und Erkrankungshäufig-

keiten in diesem Beitrag wurden die 96 Raumordnungsregionen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR 2017) verwendet. Die Zuordnung erfolgt auf Basis der in den Daten der Mitgliederbestandsführung gespeicherten Postleitzahl des Versichertenwohnortes. Die Zuordnung des Versichertenwohnortes zu einem Bundesland geschieht über den Kreis-Gemeindeschlüssel, der jährlich von der Post zur Verfügung gestellt wird. Zu beachten ist, dass sich die empirisch festgelegten Raumordnungsregionen nicht zwangsläufig mit den amtlich festgelegten Regionalgrenzen von Gemeinden, Kreisen oder Bundesländern decken. Bei Stadtstaaten wie beispielsweise Bremen können die für das Bundesland dokumentierten Behandlungshäufigkeiten daher von den Behandlungshäufigkeiten der Raumordnungsregion Bremen abweichen.

17.3 Methoden

17.3.1 Alters- und Geschlechtsstandardisierung

Die Alters- und Geschlechtsstruktur der AOK-Versicherten unterscheidet sich teilweise von der der bundesdeutschen Wohnbevölkerung. So liegt der Anteil der Frauen im Alter von 35 bis 65 Jahren bei AOK-Versicherten unter dem Bundesdurchschnitt, während Frauen ab einem Alter von 75 Jahren in der AOK überproportional häufig vertreten sind (s. Abb. 2). Männer sind vor allem im jüngeren Erwachsenenalter zwischen 18 und 35 Jahren in der AOK überrepräsentiert, im höheren Erwachsenenalter (zwischen 45 und 75 Jahren) hingegen liegt der Anteil der Männer (vergleichbar zu den Frauen) unter dem Bundesdurchschnitt, wenngleich die Differenz zur deutschen Wohnbevölkerung bei ihnen geringer ausfällt als bei den Frauen. Zudem weist die AOK im Jahr 2018 einen überdurchschnittlichen Anteil an hochbetagten Menschen (insbesondere Frauen über 80 Jahre) auf. Da diese Merkmale einen Einfluss auf Morbidität und In-

anspruchnahme von Gesundheitsleistungen haben, wurde in diesem Beitrag zur Berechnung der verschiedenen Kennzahlen eine direkte Alters- und Geschlechtsstandardisierung vorgenommen (Kreienbrock et al. 2012). Dabei wurden für die AOK-Versicherten die entsprechenden Kennzahlen in Geschlechts- und Altersklassen berechnet und mit der Geschlechts- und Alterszusammensetzung der deutschen Wohnbevölkerung gewichtet. Es wurden die in Abbildung 2 gezeigten Altersklassen genutzt. Bei alters- und geschlechtsübergreifenden Darstellungen wurden die derartig gewichteten Kennzahlen entsprechend aufsummiert. Bei den regionalisierten Darstellungen wurde die Vergleichbarkeit der einzelnen Regionen hergestellt, indem auch hier die Alters- und Geschlechtsstruktur in ganz Deutschland zugrunde gelegt und auf die deutsche Wohnbevölkerung standardisiert wurde. Unterschiede in der (regionalen) Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen sind somit nicht auf demografische Unterschiede zurückzuführen.

17.3.2 Kennzahlen für Behandlungshäufigkeiten und die Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen

Bestimmung der administrativen Behandlungsprävalenzen

Dieser Beitrag weist Behandlungsprävalenzen für die häufigsten Erkrankungen bzw. Behandlungsanlässe für das Jahr 2018 aus. Die Jahresprävalenz einer Erkrankung wurde definiert als die Anzahl aller Personen mit der Zieldiagnose (Analysepopulation) bezogen auf alle Versicherten mit mindestens einem Versichertentag im Jahr 2018. Die Daten dafür beruhen auf den stationär gestellten oder – wenn keine Krankenhausbehandlung vorlag – auf ambulant dokumentierten gesicherten Diagnosen. Sämtliche ausgewiesenen Prävalenzen sind daher als dokumentierte Behandlungsprävalenz bzw. administrative Prävalenz zu interpretieren. Allerdings beziehen

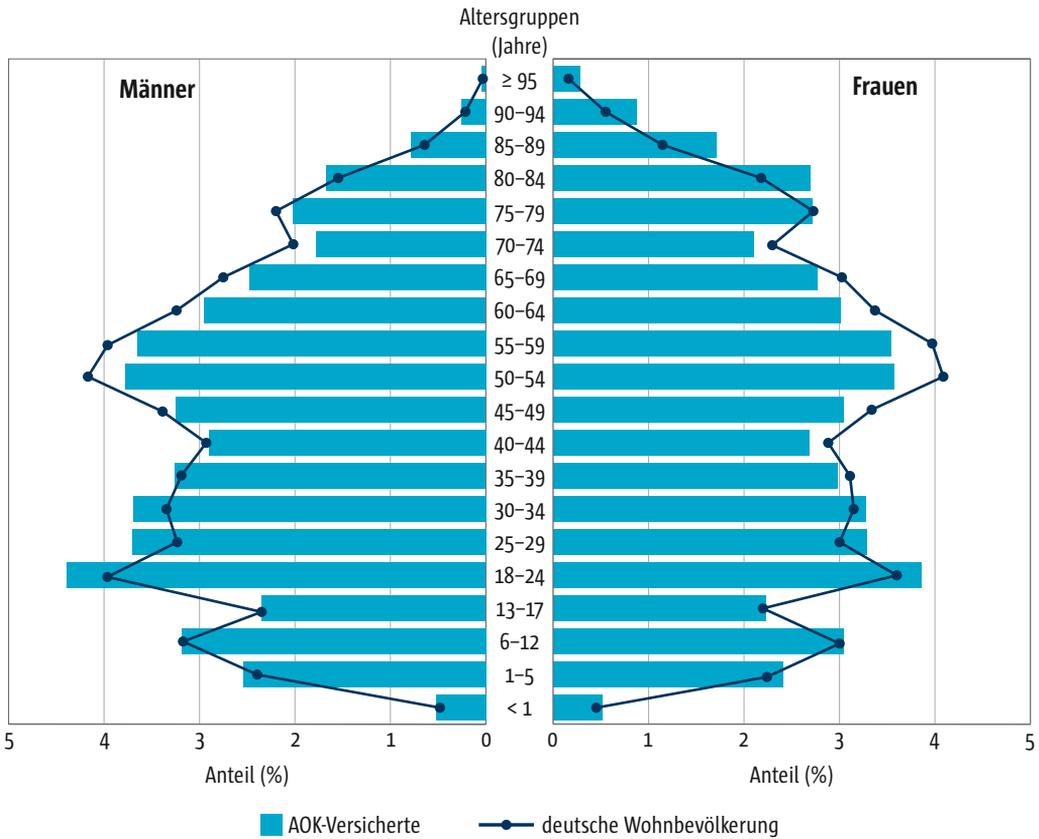


Abb. 2 Alters- und Geschlechtsverteilung der deutschen Wohnbevölkerung und der AOK-Versicherten im Jahr 2018

sich die dargestellten Behandlungsprävalenzen nicht nur auf Erkrankungen, sondern auch auf andere Behandlungsanlässe, z.B. Faktoren, die den Gesundheitszustand beeinflussen und zur Inanspruchnahme des Gesundheitswesens führen (ICD-10 Z00-Z99). Diese Kodierung wird beispielsweise für Früherkennungsuntersuchungen, Impfungen oder Geburten verwendet. Derartige Maßnahmen können auch gesunde Personen in Anspruch nehmen. Sie spiegeln nicht unbedingt die Morbidität wider, stellen aber doch eine Inanspruchnahme des Gesundheitswesens dar. Bei seltenen Diagnosegruppen wurde die Prävalenz aufgrund von Rundungen als 0,0 (d.h. < 0,05) ausgewiesen. Gruppen mit weniger als hochgerechnet 1.000 Personen sind in den Tabellen nicht dargestellt.

Validierung der dokumentierten Diagnosen

Stationäre Diagnosenennungen werden als verlässlich bewertet, da die Kodierung von Krankenhausdiagnosen mehreren, stetig geschärften Prüfmechanismen unterliegt (s. Kap. 17.4). Aus diesem Grund werden als Analysepopulation alle Personen aufgegriffen, die einen Krankenhausaufenthalt mit der jeweiligen Zieldiagnose (als Haupt- oder Nebendiagnose) im Berichtsjahr oder -zeitraum aufweisen. Die von niedergelassenen Medizinern in ambulanter Praxis dokumentierten Diagnosen, die ohne konsentrierte Kodierrichtlinien erstellt werden, bedürfen einer genaueren Prüfung. Bei ausschließlich ambulant behandelten Personen muss im Falle einer chronischen Erkrankung

die betreffende Diagnose daher in mindestens zwei von vier Quartalen (auch M2Q-Kriterium genannt) dokumentiert sein. In Abhängigkeit von der jeweiligen Zielerkrankung gelten allerdings unterschiedliche Bezugszeiträume:

Bei Erkrankungen mit kontinuierlichem Krankheitsverlauf und Behandlungsbedarf (z.B. Herzinsuffizienz) ist der Bezugszeitraum das Kalenderjahr. Die Diagnosevalidierung erfolgt innerhalb der vier Quartale des Berichtsjahres.

17.4 Limitationen und Validität von AOK-Routinedaten

Die Abrechnungsdaten von mehr als 27,8 Mio. AOK-Versicherten geben die Chance, sektorenübergreifend Langzeitverläufe von großen Populationen ohne regionale Eingrenzung und ohne Beschränkung auf einen einzelnen Leistungssektor zu analysieren. Dennoch sind folgende Limitationen bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse zu berücksichtigen.

Validität der dokumentierten Diagnoseinformationen

Die von ärztlichen Leistungserbringern dokumentierte Behandlungsmorbidität kann aus mehreren Gründen von der wahren Prävalenz einer Erkrankung abweichen:

- Über Diagnosenennungen können bestenfalls therapierte Erkrankte ermittelt werden. Erkrankte ohne Arztkontakt bleiben unerkannt.
- Diagnosen können fehlerhaft nach der ICD-Systematik verschlüsselt werden.
- Bei multimorbiden Patienten können bei konkurrierenden Diagnosen tatsächlich vorliegende Erkrankungen ungenannt bleiben, wenn nur die vergleichsweise „höherwertige“ Diagnose aufgezeichnet wird.
- Aus Gründen praxisinterner Abläufe können im ambulanten Bereich möglicherweise

Diagnosen ungewollt über mehrere Abrechnungsquartale hinweg fortgeführt werden, obwohl eine Erkrankung nicht mehr besteht.

- Diagnosestellungen haben oftmals eine legitimatorische Funktion in der jeweiligen Vergütungssystematik. Sie bezeichnen primär den Beratungs- und Behandlungsanlass und begründen das weitere ärztliche Handeln. Insofern spiegeln die dokumentierten Diagnosen nur bedingt die Morbidität wider. Mit der Einführung von diagnoseorientierten Fallpauschalen zur Vergütung von Krankenhausleistungen im Jahr 2003 wurde die Diagnosekodierung bestimmend für die Erlössituation der Krankenhäuser. Die Diagnosekodierung wird seitdem geregelt durch die Deutschen Kodierrichtlinien und ist Gegenstand der Abrechnungsprüfung der Krankenkassen und ihrer medizinischen Dienste. Die Kodierqualität gilt im stationären Bereich daher als verlässlich.
- Für den ambulanten Bereich liegen bislang keine entsprechenden Kodierrichtlinien vor. Die Dokumentation von Diagnosen durch hausärztlich tätige Ärzte kann (theoretisch) relativ unscharf sein, denn für Hausärzte ist das endstellige Kodieren nicht obligatorisch. Eine aktuelle empirische Untersuchung zeigt jedoch, dass die Kodierqualität unter Hausärzten durchaus gut ist. Demnach verwenden Hausärzte mittlerweile nicht nur eine Vielzahl sehr unterschiedlicher ICD-10-Diagnosen, sondern nutzen in der Praxisrealität auch die Möglichkeit zum endstelligen Kodieren (Carnarius et al. 2018).

Auch wenn die Verlässlichkeit der Diagnosequalität zunimmt, sollten Diagnosen immer unter Hinzuziehung weiterer Merkmale wie Diagnoseherkunft (stationär oder ambulant), Dokumentationsdauer, Medikation erkrankungsspezifischer Wirkstoffe oder – je nach Fragestellung – weiterer Merkmale validiert werden (Hartmann et al. 2016; Schubert et al. 2010).

Operationalisierung von Krankheiten

Bei der Nutzung von routinedatenbasierten Prävalenzangaben ist neben der Diagnosevalidierung auch das methodische Vorgehen zur Krankheitsdefinition von Bedeutung. Mit der Krankheits- bzw. Falldefinition wird festgelegt, welche Kriterien zur Bestimmung einer Erkrankung in Routinedaten herangezogen werden sollen. Die in diesem Beitrag dargestellten Prävalenzangaben basieren auf der ärztlichen Inanspruchnahme mit entsprechend validierter ICD-Kodierung (Behandlungsprävalenz). Dieses Vorgehen erlaubt Angaben zu Prävalenzen und Hospitalisierungsraten für die 1.500 häufigsten Erkrankungsgruppen und ermöglicht somit eine umfassende Einschätzung der epidemiologischen Bedeutung von Erkrankungen in Deutschland. Zur Abbildung von Krankheiten in Sekundärdaten sind jedoch auch komplexere Krankheitsdefinitionen möglich. Je nach Kontext der Forschungsfrage werden Krankheiten über verschiedene ICD-Schlüssel zusammengefasst oder mit weiteren Kriterien der Leistungsanspruchnahme (z.B. Arzneimittelverordnungen oder spezifischen EBM-Leistungen) validiert. Ein Beispiel hierfür sind die spezifischen Falldefinitionen des WIDO, die zur Berechnung von Krankheitshäufigkeiten in Deutschland im Rahmen des vom Innovationsfonds geförderten Projekts „BURDEN 2020“ verwendet werden (Breitkreuz et al. 2021). Hierfür wurden Krankheitsdefinitionen für 18 ausgewählte Erkrankungen und Schweregrade auf Basis von Routinedaten operationalisiert. Das entsprechende methodische Vorgehen mit den angewendeten Krankheitsdefinitionen, dem Prävalenzkonzept, dem alters-, geschlechts- und morbiditätsadjustierenden Hochrechnungsverfahren wie auch die ermittelten Prävalenzen für alle Einwohner Deutschlands sind unter www.krankheitslage-deutschland.de zugänglich.

Repräsentativität der Daten

Die Übertragbarkeit der in diesem Beitrag ausgewiesenen Kennzahlen auf die deutsche Wohnbevölkerung kann trotz der vorgenommenen Alters- und Geschlechtsstandardisierung eingeschränkt sein. Denn neben Alter und Geschlecht gibt es weitere Einflussfaktoren, z.B. soziodemografische Merkmale einer Person, die die Morbidität und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen beeinflussen. Da sich die AOK-Versicherten möglicherweise in soziodemografischen Merkmalen von denen der deutschen Wohnbevölkerung unterscheiden, ist trotz Standardisierung bei der Hochrechnung auf die deutsche Wohnbevölkerung eine Über- oder Unterschätzung der betrachteten Maßzahlen denkbar (Hoffmann u. Icks 2012). Die Daten einer einzelnen Krankenkasse können daher keinen Anspruch auf vollständige Repräsentativität erheben (Jaunzeme et al. 2013). Ferner ist bei der Interpretation der vorliegenden Daten zu berücksichtigen, dass die AOK in den letzten Jahren einen starken Versicherungszuwachs erfahren hat. Laut der Mitgliederstatistik des Bundesministeriums für Gesundheit (KM1/13) ist die Zahl der AOK-Versicherten im Jahresdurchschnitt 2015 von 24,5 Mio. auf 26,5 Mio. im Jahr 2018 um rund 2 Mio. Versicherte gestiegen (BMG 2019). Da der hohe Versicherungszuwachs möglicherweise auch Auswirkungen auf die Morbiditätsstruktur der AOK hat, wird auch in der diesjährigen Ausgabe des Versorgungs-Reportes auf Vorjahresvergleiche verzichtet.

Einschränkung auf Leistungen der gesetzlichen Krankenversicherung

Die verwendete Datenbasis bildet den medizinischen Leistungsbedarf in den dargestellten Leistungsbereichen fast vollständig ab, soweit die Leistungen im GKV-Leistungskatalog enthalten sind. Grundsätzlich sind bei GKV-Routinedaten folgende Einschränkungen zu beachten:

- In den Routinedaten fehlen individuelle Gesundheitsleistungen (IGel), deren Umfang in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen ist (Zok 2015).
- In den Arzneimittelverordnungsdaten sind nur die von niedergelassenen Vertragsärzten verordneten, in öffentlichen Apotheken eingelösten und mit den gesetzlichen Krankenkassen abgerechneten Arzneimittelrezepte berücksichtigt. Wenn Patienten Medikamente in der Apotheke selbst bezahlen, dann liegt der Krankenkasse darüber keine Information vor, obwohl die Leistung selbst im GKV-Leistungskatalog enthalten sein kann. Dies ist relativ häufig bei sogenannten OTC-Präparaten (Over the Counter) der Fall, wenn – wie bei der Acetylsalicylsäure – der Packungspreis unterhalb des Zuzahlungs Betrags liegt; es ist seltener der Fall, wenn ein Versicherter einen Selbstbehalt-Tarif seiner Krankenkasse gewählt hat und aufgrund dessen eine Verordnung selbst bezahlt.
- Es liegen keine Informationen darüber vor, welche Arzneimittel im Rahmen stationärer Aufenthalte verabreicht wurden.
- **Diagnose bzw. Behandlungsanlass:** Klartextbeschreibung der ICD-Schlüsselnummer
- **Prävalenz gesamt:** Häufigkeit der Diagnose im Jahr 2018 insgesamt in der Bevölkerung. Anteil aller mit der Diagnose behandelten Personen an der Gesamtbevölkerung.
- **Prävalenz männlich:** Diagnosehäufigkeit in der männlichen Bevölkerung. Anteil der erkrankten männlichen Personen an allen männlichen Personen.
- **Prävalenz weiblich:** Diagnosehäufigkeit in der weiblichen Bevölkerung. Anteil der erkrankten weiblichen Personen an allen weiblichen Personen.
- **Prävalenz 1–17 Jahre:** Diagnosehäufigkeit bei Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren. Neugeborene bis unter 1 Jahr werden aufgrund der besonderen Situation bei der Versorgung von Säuglingen/Frühgeborenen nicht berücksichtigt.
- **Prävalenz 18–59 Jahre:** Diagnosehäufigkeit bei Erwachsenen jüngeren und mittleren Alters von 18 bis unter 60 Jahren
- **Prävalenz 60 und mehr Jahre:** Diagnosehäufigkeit bei älteren Erwachsenen ab 60 Jahren
- **Hospitalisierungsrate allgemein:** Anteil der Personen, die im Jahr 2018 in stationärer Behandlung waren. Dabei werden alle Krankenhausaufenthalte gezählt unabhängig von der betrachteten Diagnose.
- **Hospitalisierungsrate mit dieser Hauptdiagnose:** Anteil der Personen, die im Auswertungsjahr mit dieser Hauptdiagnose in stationärer Behandlung waren (d.h. diese Diagnose stellt den stationären Behandlungsanlass dar).

17.5 Administrative Behandlungsprävalenzen

Tabelle 1 zeigt die 30 häufigsten dokumentierten Einzeldiagnosen bzw. Behandlungsanlässe in der Gesamtbevölkerung im Jahr 2018 differenziert nach Altersgruppen und Geschlecht. Eine erweiterte Übersicht über im Jahr 2018 dokumentierte Einzeldiagnosen (mit mehr als 1.000 Betroffenen) steht im elektronischen Anhang zur Verfügung.

Tabelle 1: Die Bedeutung der Tabellenspalten im Einzelnen

- **Rang:** Rangposition in der „Hitliste“ der häufigsten Erkrankungen
- **ICD-10:** dreistellige ICD-Schlüsselnummer nach ICD-10-GM

Die Diagnosen Rückenschmerzen (ICD-10 M54) und die essentielle (primäre) Hypertonie (ICD-10 I10) stellten mit einer Behandlungsprävalenz von 26,8% bzw. 26,6% die häufigsten dokumentierten Einzeldiagnosen der deutschen Wohnbevölkerung dar. Damit stehen beide Diagnosen – wie auch in den Vorjahren – unverändert an der Spitze der häufigsten Behandlungsanlässe (Gerste et al. 2014, 2016; Schmuker et al. 2019). In der Rangliste folgen akute Infektionen der oberen Atemwege (ICD-10 J06), von denen 22,0% der Gesamtbevölkerung betroffen waren. Ein Viertel der Gesamtbevölkerung mit essentieller (primärer) Hypertonie (ICD-10 I10) war im Jahr

Tab. 1 Prävalenzen und Hospitalisierungsquoten für die 30 häufigsten Behandlungsdiagnosen nach ICD-Dreistellern (2018)

Rang	ICD-10	Diagnose bzw. Behandlungsanlass	Prävalenz (in %)						Hospitalisierungsrate gesamt (in %)	
			gesamt	männlich	weiblich	1-17 Jahre	18-59 Jahre	60 und mehr Jahre	allg.	mit dieser Hauptdiagnose
1	M54	Rückenschmerzen	26,8	23,9	29,6	2,8	28,8	37,0	21,1	0,9
2	I10	Essentielle (primäre) Hypertonie	26,6	25,1	28,1	0,2	15,1	64,8	25,8	1,0
3	J06	Akute Infektionen an mehreren oder nicht näher bezeichneten Lokalisationen der oberen Atemwege	22,0	21,6	22,3	39,8	23,4	9,0	13,2	0,3
4	Z12	Spezielle Verfahren zur Untersuchung auf Neubildungen	19,1	8,6	29,3	0,4	21,9	24,2	18,7	0,0
5	Z00	Allgemeinuntersuchung und Abklärung bei Personen ohne Beschwerden oder angegebene Diagnose	18,0	17,0	18,9	32,4	11,2	21,1	16,8	0,0
6	E78	Störungen des Lipoproteinstoffwechsels und sonstige Lipidämien	16,1	15,7	16,5	0,1	8,9	39,6	25,2	0,0
7	Z25	Notwendigkeit der Impfung [Immunsierung] gegen andere einzelne Viruserkrankheiten	14,2	12,5	15,8	10,5	6,2	31,0	23,6	0,0
8	R10	Bauch- und Beckenschmerzen	11,2	7,2	15,0	10,2	12,8	8,6	25,2	1,5
9	E11	Diabetes mellitus, Typ 2	10,1	10,2	10,0	0,0	4,3	27,3	29,9	2,0
10	N89	Sonstige nichtentzündliche Krankheiten der Vagina	9,9	0,0	19,5	1,5	14,9	5,1	18,6	0,0
11	E66	Adipositas	9,5	7,9	11,1	2,7	7,8	17,0	25,1	0,3
12	Z01	Sonstige spezielle Untersuchungen und Abklärungen bei Personen ohne Beschwerden oder angegebene Diagnose	9,1	2,7	15,3	3,0	10,8	9,3	19,3	0,1
13	R52	Schmerz, anderenorts nicht klassifiziert	9,1	7,1	10,9	0,9	6,7	18,5	31,5	0,1
14	F32	Depressive Episode	8,8	6,0	11,5	0,4	8,0	15,0	27,9	1,3
15	M17	Gonarthrose [Arthrose des Kniegelenkes]	8,8	6,9	10,5	0,0	4,1	23,0	28,5	2,5
16	A09	Sonstige und nicht näher bezeichnete Gastroenteritis und Kolitis infektiösen und nicht näher bezeichneten Ursprungs	8,6	8,9	8,3	12,8	10,1	3,3	17,3	2,4
17	K29	Gastritis und Duodenitis	8,1	7,2	9,0	1,4	8,2	12,0	26,6	2,5
18	M99	Biomechanische Funktionsstörungen, anderenorts nicht klassifiziert	7,9	6,6	9,1	2,2	8,9	9,1	20,2	0,0
19	M25	Sonstige Gelenkrankheiten, anderenorts nicht klassifiziert	7,7	6,9	8,5	2,3	7,9	10,5	23,1	0,5
20	M53	Sonstige Krankheiten der Wirbelsäule und des Rückens, anderenorts nicht klassifiziert	7,6	5,9	9,4	0,5	7,4	12,2	22,7	0,4
21	K21	Gastroösophageale Refluxkrankheit	7,6	7,0	8,1	0,3	6,0	14,9	27,3	0,8
22	M51	Sonstige Bandscheibenschäden	7,5	7,2	7,9	0,0	7,1	12,7	25,9	2,0
23	J20	Akute Bronchitis	7,3	7,2	7,4	14,1	6,2	5,7	18,5	2,0
24	E04	Sonstige nichttoxische Struma	7,3	3,6	10,9	0,3	5,8	14,3	22,4	0,7
25	Z27	Notwendigkeit der Impfung [Immunsierung] gegen Kombinationen von Infektionskrankheiten	7,2	6,9	7,5	17,4	4,6	5,1	15,3	0,0
26	I30	Sonstige Dermatitis	7,1	6,4	7,8	7,4	5,7	9,6	21,1	0,2
27	H52	Akkommodationsstörungen und Refraktionsfehler	6,9	5,9	8,0	6,5	2,8	15,6	23,3	0,0
28	I83	Varizen der unteren Extremitäten	6,9	4,0	9,8	0,0	4,5	15,7	25,7	1,2
29	Z30	Kontrazeptive Maßnahmen	6,9	0,0	13,5	2,2	11,7	0,1	15,6	0,0
30	M79	Sonstige Krankheiten des Weichteilgewebes, anderenorts nicht klassifiziert	6,9	5,4	8,3	2,4	7,0	9,2	23,9	0,7

2018 in stationärer Behandlung. Lediglich bei 1% aller Patienten war die Diagnose zugleich der primäre Behandlungsanlass (stationäre Hauptdiagnose) für den Krankenhausaufenthalt.

Die häufigsten Behandlungsanlässe bei Kindern und Jugendlichen, jüngeren und älteren Erwachsenen sowie bei Männern und Frauen stehen elektronisch zur Verfügung. Von essentieller (primärer) Hypertonie und Rückenschmerzen waren vor allem Erwachsene betroffen. Während bei den jüngeren Erwachsenen (bis 59 Jahre) die Rückenschmerzen mit einer Prävalenz von 28,8% dominierten, war bei älteren Erwachsenen die essentielle (primäre Hypertonie) mit einer Prävalenz von 64,8% die häufigste dokumentierte Behandlungsdiagnose. Bei den Kindern und Jugendlichen (1–17 Jahre) dominierten wie auch in den Vorjahren akute Infektionen der oberen und unteren Atemwege wie beispielsweise akute Bronchitis (ICD-10 J20), akute Tonsillitis (ICD-10 J03) oder akute Pharyngitis (ICD-10 J03). In dieser Altersgruppe ist zudem auch die Prävalenz von Symptomen und abnormen klinischen und Laborbefunden, die anderenorts nicht klassifiziert sind, hoch (z.B. ICD-10 R50 Fieber sonstiger und unbekannter Ursache [11,5%] und R10 Bauch- und Beckenschmerzen [10,2%]).

Frauen und Männer wiesen geschlechtsspezifische Besonderheiten in den Behandlungshäufigkeiten auf. So ist beispielsweise die dokumentierte Behandlungsprävalenz der depressiven Episode (ICD-10 F32) bei Frauen mit 11,5% fast doppelt so hoch wie bei Männern mit 6,0%. Auch spezielle Verfahren zur Untersuchung auf Neubildungen (ICD-10 Z12) wurden bei Frauen (28,9%) deutlich häufiger dokumentiert als bei Männern (8,6%).

In Ergänzung hierzu stehen im elektronischen Anhang Prävalenzen und Hospitalisierungsraten des Jahres 2018 auf Ebene der ICD-10-Diagnoseobergruppen zur Verfügung. Mit einer Prävalenz von 37,2% stellte die Diagnosegruppe Z00-Z13 (Personen, die das Gesundheitswesen zur Untersuchung und Abklärung in Anspruch nehmen) den häufigsten Behandlungsanlass der deutschen Wohnbevölkerung im Jahr

2018 dar. In diese Obergruppe fallen beispielsweise Früherkennungs- und Reihenuntersuchungen sowie Nachuntersuchungen nach Behandlung von bösartigen Neubildungen. Bei Frauen war die Prävalenz mehr als doppelt so hoch wie bei Männern, was durch eine höhere Teilnahme von Frauen an Früherkennungsuntersuchungen zu erklären sein dürfte (Tillmanns et al. 2019). Bei Betrachtung der Behandlungsprävalenzen auf der Ebene der Diagnosegruppen wird insbesondere auch die hohe Prävalenz der dokumentierten Gelenkerkrankungen (Arthropathien) deutlich. Mehr als ein Viertel der Bevölkerung (26,2%) hatte eine Diagnose aus dem Bereich der Arthropathien (M00-M25). In der Altersgruppe der über 60-Jährigen war fast die Hälfte der Bevölkerung (49%) betroffen.

17.6 Inanspruchnahme innerhalb der einzelnen Leistungssektoren

17.6.1 Stationäre Behandlungen

Im Jahr 2018 wurden von 100.000 Einwohnern insgesamt 15.353 Personen mindestens einmal stationär behandelt (s. Abb. 3). Innerhalb der drei Altersgruppen sind erwartungsgemäß erhebliche Unterschiede in der Inanspruchnahme von stationären Leistungen zu sehen. In der Altersgruppe der über 60-Jährigen hatte jede vierte Person mindestens eine stationäre Behandlung. Ältere Personen wurden damit mehr als doppelt so oft in einer Klinik behandelt wie Erwachsene der Altersgruppe 18 bis 59 Jahre und etwa dreimal häufiger als Kinder und Jugendliche.

Bei der Inanspruchnahme von stationären Leistungen gab es große regionale Unterschiede (s. Abb. 4). Die Regionen Emscher-Lippe (19.604 Patienten je 100.000 Einwohner) und Arnsberg (18.699 Patienten je 100.000 Einwohner) in Nordrhein-Westfalen sowie die Region Altmark (18.228 Patienten je 100.000 Einwohner) in Sachsen-Anhalt wiesen den höchsten Anteil an Krankenhauspatienten auf. Besonders niedrig war die Hospitalisierungsrate in weiten Teilen

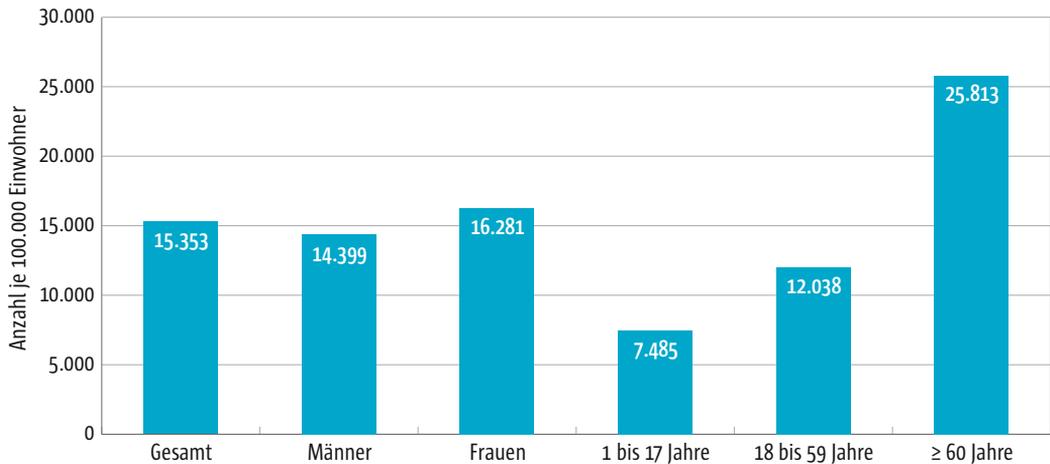


Abb. 3 Anzahl der jährlichen Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018)

Baden-Württembergs (Minimum in der Region Neckar-Alb mit 12.603 Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner).

Das Statistische Bundesamt veröffentlicht jährlich mit der DRG-Statistik Zahlen zur Entwicklung der (vollstationären) Fälle in deutschen Krankenhäusern. Der Statistik nach sind die absoluten Fallzahlen im Zeitraum 2007 bis 2016 erheblich (insgesamt um 12,5%) gestiegen (Statistisches Bundesamt 2016). Zwischen 2016 und 2018 ist ein leichter Rückgang (-1,1%) der Fallzahlen zu beobachten (Statistisches Bundesamt 2021b).

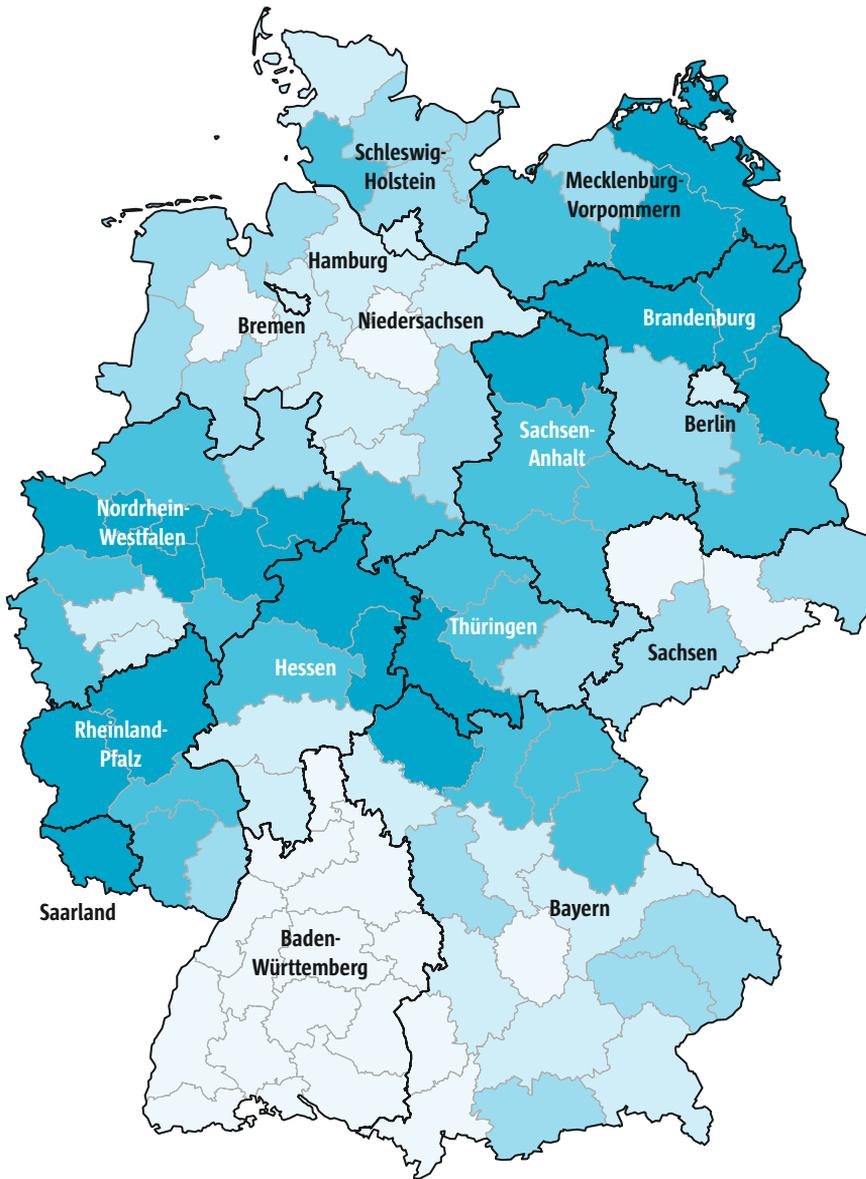
Die häufigsten Behandlungsanlässe

Die 30 häufigsten stationären Behandlungsanlässe aller im Jahr 2018 abgeschlossenen voll- und teilstationären Krankenhausfälle sind in Tabelle 2 dargestellt. Eine erweiterte Tabelle über die 100 häufigsten stationären Behandlungsdiagnosen ist elektronisch verfügbar. Für jede Patientin/jeden Patienten wird in dieser Tabelle nur die Diagnose ausgewertet, die hauptsächlich für die Veranlassung des stationären Krankenhausaufenthaltes verantwortlich ist (Hauptdiagnose).

Tabelle 2: Die Bedeutung der Tabellenspalten im Einzelnen

- **Rang:** Rangposition in der „Hitliste“ der häufigsten stationären Behandlungsanlässe des Jahres 2018
- **ICD-10:** Dreistellige ICD-Schlüsselnummer nach ICD-10-GM. Es wurden auch ICD-Schlüsselnummern eingeschlossen, die zur Inanspruchnahme des Gesundheitswesens führen und nicht als Krankheit oder Verletzung klassifizierbar sind („Z-Diagnosen“).
- **Diagnose bzw. Behandlungsanlass:** Klartextbeschreibung der ICD-Schlüsselnummer
- **KH-Patienten je 100.000 Einwohner:** Anzahl der Personen in der Gesamtbevölkerung, die – von 100.000 Einwohnern – im Jahr mindestens einen Krankenhausaufenthalt anlässlich der betreffenden Diagnose hatten.
- **Fälle je KH-Patient:** durchschnittliche Anzahl an Krankenhausfällen je stationär behandeltem Patient

Zu den häufigsten stationären Behandlungsanlässen des Jahres 2018 zählten unverändert Geburten (ICD-10 Z38), Herzinsuffizienz (ICD-10 I50), psychische und Verhaltensstörungen durch Alkohol (ICD-10 F10), Angina pectoris (ICD-10 I20) und Pneumonie (ICD-10 J18). Diese fünf Behandlungsanlässe führten bereits in den früheren Jahren die Liste der wichtigsten Hauptdiagnosen stationärer Aufenthalte an.



Anzahl der jährlichen Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner*

□ 12.603–14.683 □ 14.684–15.548 □ 15.549–16.094 □ 16.095–17.257 □ 17.258–19.604

* standardisiert auf die deutsche Wohnbevölkerung

Abb. 4 Anzahl der jährlichen Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018)

Tab. 2 Die 30 häufigsten stationären Behandlungsanlässe des Jahres 2018 bei Krankenhauspatienten in Deutschland

Rang	Hauptdiagnose		KH-Patienten	
	ICD-10 (Dreisteller)	Diagnose bzw. Behandlungsanlass	je 100.000 Einwohner	Fälle je KH-Patient
	insgesamt		15.353	1,6
1	Z38	Lebendgeborene nach dem Geburtsort	678	1,0
2	I50	Herzinsuffizienz	503	1,3
3	J18	Pneumonie, Erreger nicht näher bezeichnet	294	1,1
4	F10	Psychische und Verhaltensstörungen durch Alkohol	287	1,7
5	S06	Intrakranielle Verletzung	278	1,1
6	I48	Vorhofflimmern und Vorhofflattern	275	1,2
7	I63	Hirninfarkt	274	1,2
8	I20	Angina pectoris	271	1,1
9	J44	Sonstige chronische obstruktive Lungenkrankheit	268	1,5
10	M54	Rückenschmerzen	257	1,1
11	K80	Cholelithiasis	256	1,2
12	I10	Essentielle (primäre) Hypertonie	255	1,1
13	I21	Akuter Myokardinfarkt	240	1,2
14	M17	Gonarthrose [Arthrose des Kniegelenkes]	221	1,0
15	I70	Atherosklerose	219	1,3
16	E11	Diabetes mellitus, Typ 2	209	1,2
17	A09	Sonstige und nicht näher bezeichnete Gastroenteritis und Kolitis infektiösen und nicht näher bezeichneten Ursprungs	207	1,0
18	I25	Chronische ischämische Herzkrankheit	206	1,1
19	K29	Gastritis und Duodenitis	201	1,0
20	F33	Rezidivierende depressive Störung	193	1,2
21	S72	Fraktur des Femurs	189	1,1
22	N39	Sonstige Krankheiten des Harnsystems	189	1,1
23	K40	Hernia inguinalis	186	1,0
24	R07	Hals- und Brustschmerzen	183	1,0
25	R55	Synkope und Kollaps	179	1,0
26	M16	Koxarthrose [Arthrose des Hüftgelenkes]	178	1,0
27	O80	Spontangeburt eines Einlings	172	1,0
28	R10	Bauch- und Beckenschmerzen	170	1,0
29	E86	Volumenmangel	169	1,1
30	A41	Sonstige Sepsis	163	1,1

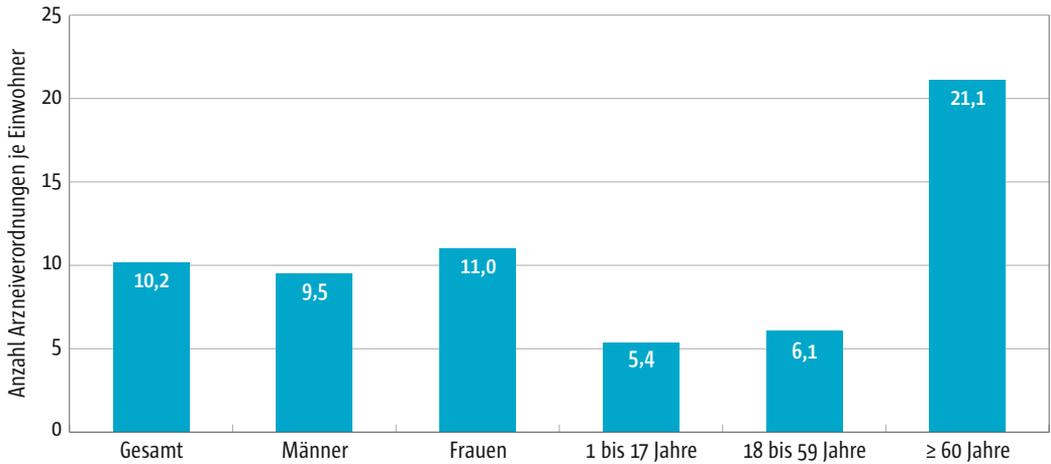


Abb. 5 Anzahl der jährlichen Arzneiverordnungen je Einwohner nach Geschlecht und Alter (2018)

Allerdings ist die Häufigkeit insgesamt im Niveau gestiegen. Beispielsweise ist die Zahl der Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner mit Hauptdiagnose Herzinsuffizienz (ICD-10 I50) von 347 im Jahr 2010 auf 503 im Jahr 2018 angestiegen (Gerste et al. 2012; Schmuker et al. 2019).

Auf alle Personen der deutschen Wohnbevölkerung, die 2018 stationär behandelt wurden, entfielen im Mittel 1,6 Krankenhausfälle. Das bedeutet, dass ein Großteil der Patienten im Jahr 2018 mehr als einmal in ein Krankenhaus aufgenommen wurde. Die Anzahl der Krankenhausfälle je Patient schwankte jedoch in Abhängigkeit von der Hauptdiagnose. Bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lungen (ICD-10 C34), der Harnblase (ICD-10 C67) und des Kolons (ICD-10 C18) waren am häufigsten für mehrfache stationäre Aufenthalte verantwortlich, gefolgt von psychischen und Verhaltensstörungen durch Alkohol (ICD-10 F10).

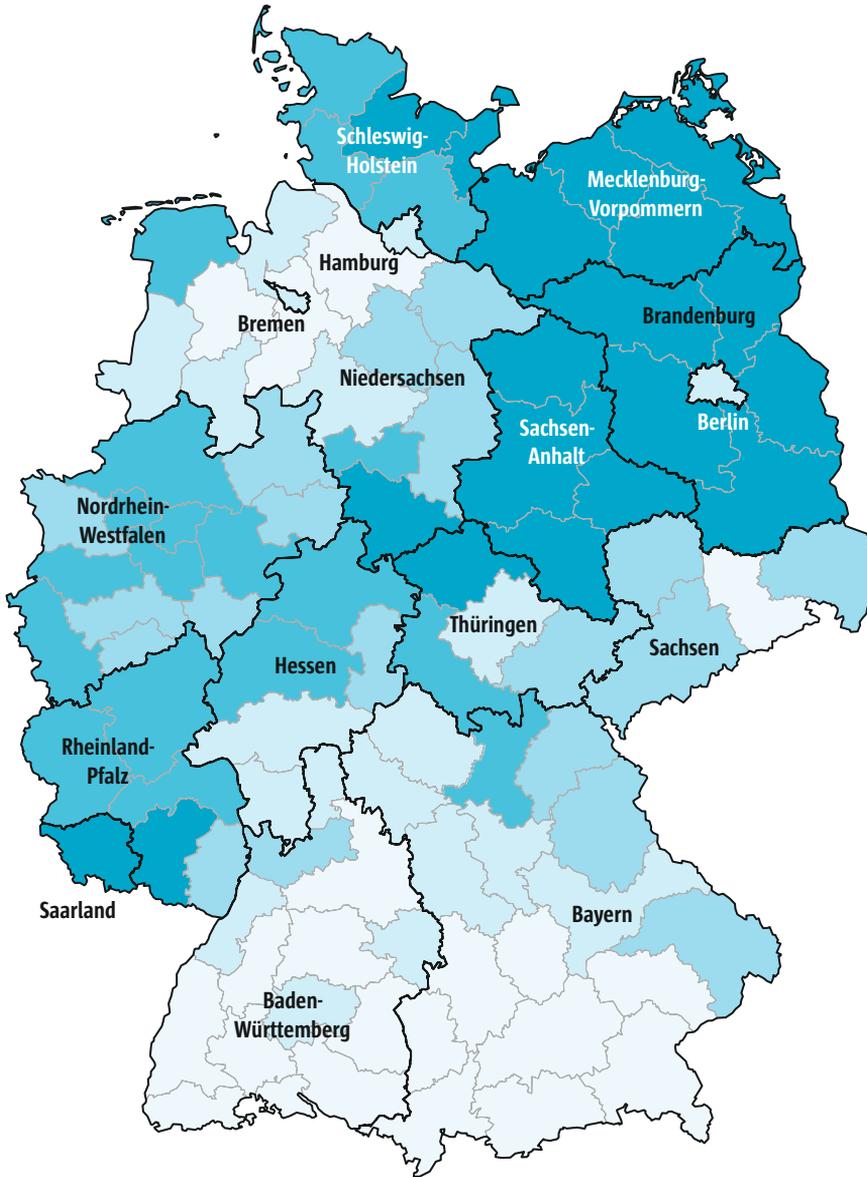
17.6.2 Arzneiverordnungen

Im Jahr 2018 haben mit 77,1% über drei Viertel der deutschen Bevölkerung mindestens eine Verordnung für ein erstattungsfähiges Arznei-

mittel erhalten. Auf jeden dieser Arzneimittelpatienten entfielen im Mittel 13,4 Verordnungen und rein rechnerisch im Durchschnitt 804 Tagesdosen mindestens eines Arzneimittels (vgl. Wirkstoffgruppen gemäß ATC-Klassifikation im elektronischer Anhang).

Bezogen auf die Gesamtbevölkerung wurden im Jahr 2018 je Einwohner im Mittel 10,2 Arzneimittel verordnet (s. Abb. 5). Die Häufigkeit von Arzneiverordnungen variiert in Abhängigkeit vom Alter erkennbar. Während es bei Kinder und Jugendlichen (1 bis 17 Jahren) und bei Erwachsenen mittleren Alters (18 bis 59 Jahren) ca. 6 jährliche Verordnungen waren, erhielten ältere Personen durchschnittlich 21,1 Arzneiverordnungen.

In Abhängigkeit von der geografischen Region streute die Häufigkeit von Arzneiverordnungen im Jahr 2018 deutlich (s. Abb. 6). Mit mehr als 13,6 Verordnungen pro Einwohner lagen die Regionen Vorpommern, Westmecklenburg und Saar an der Spitze des Verordnungsgeschehens. Die niedrigsten Raten (< 8,5 Verordnungen je Einwohner) wurden in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg dokumentiert und hier speziell in den Regionen Allgäu, Oberland, München, Südostoberbayern und Donau-Iller.



Anzahl der jährlichen Arzneverordnungen je Einwohner *

□ 7,22-8,46 □ 8,47-9,18 □ 9,19-9,67 □ 9,68-10,44 □ 10,44-13,64

* standardisiert auf die deutsche Wohnbevölkerung

Abb. 6 Anzahl der jährlichen Arzneverordnungen je Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018)

Arzneiverordnungen nach therapeutischer Wirkstoffgruppe

Abbildung 7: Die Bedeutung der Kennziffern im Einzelnen

- **Wirkstoffgruppe mit ATC-Code:** Zweite hierarchische Ebene des anatomisch-therapeutisch-chemischen Klassifikationssystems (ATC): therapeutische Untergruppe mit dreistelligem ATC-Code. Eine verlässliche Zuordnung der Arzneimittel zu ATC-Gruppen samt Bestimmung der verordneten Tagesdosen in DDD kann nur für Fertigarzneimittel vorgenommen werden, die entsprechend klassifiziert sind.
- **Verordnungsrate:** Verordnungsrate je ATC-Gruppe. Anteil der Personen in der Gesamtbevölkerung, die im Jahr mindestens eine Verordnung aus der betreffenden Wirkstoffgruppe erhalten haben.
- **Verordnungen je Arzneimittelpatient der ATC-Gruppe:** durchschnittliche Anzahl an Verordnungen, die ein Patient mit Verordnung in der betreffenden Wirkstoffgruppe erhalten hat
- **Tagesdosen (DDD) je Arzneimittelpatient der ATC-Gruppe:** verordnete Arzneimittelmenge (Angabe in DDD) je Patient

Einen Überblick über die häufigsten im Jahr 2018 verordneten Wirkstoffgruppen gemäß ATC-Klassifikation liefert Abbildung 7. Dargestellt wurde der prozentuale Anteil an Personen mit einer Verordnung der jeweiligen Wirkstoffgruppe bezogen auf die deutsche Wohnbevölkerung. Die ebenso dargestellten definierten Tagesdosen (DDD) beziehen sich dagegen ausschließlich auf diejenigen Patienten, die tatsächlich eine entsprechende Medikation verordnet bekamen. Die DDD wird dabei als Maß für die verordnete Arzneimittelmenge verwendet. Wie auch in früheren Jahren wurden sowie Antiphlogistika und Antirheumatika (ATC Mo1) sowie Antibiotika zur systemischen Anwendung (ATC Jo1) besonders häufig verordnet (Gerste et al. 2016; Schmuker et al. 2019). Fast ein Drittel der Deutschen hat 2018 mindestens eine solche Verordnung erhalten. Je Arzneimittelpatient wurden im Mittel 1,7 Packungen

Antibiotika mit 15 Tagesdosen verordnet, bei den Antiphlogistika und Antirheumatika waren es 2,0 Packungen mit 55 DDD. Die vergleichsweise niedrigen DDD-Mengen bei den Antibiotika weisen darauf hin, dass diese bei den Wirkstoffgruppen primär bzw. häufig zur Behandlung akuter oder schubweiser Krankheitsverläufe eingesetzt werden. Anders verhält es sich bei chronischen Erkrankungen wie Hypertonie oder Diabetes mellitus, die einen kontinuierlichen Behandlungsbedarf erfordern. Dementsprechend hoch sind die Tagesdosen bei Mitteln mit Wirkung auf das Renin-Angiotensin-System (ATC Co9; 581 DDD je Arzneimittelpatient) oder bei den Antidiabetika (ATC A10; 468 DDD je Arzneimittelpatient). Insgesamt ist im GKV-Arzneimittelmarkt ein kontinuierlicher Anstieg des Verordnungsvolumens nach definierten Tagesdosen (DDD) zu beobachten. Zwischen 2008 und 2018 sind die definierten Tagesdosen im Gesamtmarkt (Generika und patentgeschützte Arzneimittel) von 32,3 Mrd. auf 41,4 Mrd. und damit um fast 30% gestiegen (Schwabe et al. 2018).

17.6.3 Ärztliche Inanspruchnahme

Im Jahr 2018 haben 90,5% der deutschen Wohnbevölkerung mindestens einmal einen ambulant tätigen Vertragsarzt aufgesucht (vgl. elektronischer Anhang). Bezogen auf die Gesamtbevölkerung entfielen auf jede Person durchschnittlich 8,1 ambulante Behandlungsfälle (s. Abb. 8). Dabei gelten mehrere Praxisbesuche eines Patienten pro Quartal bei ein und demselben Arzt als ein einziger Behandlungsfall. Im Mittel wurden pro Person und Quartal demzufolge mehr als zwei ambulant tätige Vertragsärzte aufgesucht. Erwartungsgemäß war die Inanspruchnahme ambulanter Leistungen bei älteren Erwachsenen der Altersgruppe (60 Jahre und älter) am höchsten (11,6 Behandlungsfälle je Einwohner).

Die kartografische Darstellung ambulanter Behandlungsfälle je Einwohner zeigte eine



Abb. 7 Die am häufigsten verordneten Wirkstoffgruppen in Deutschland (2018)

leicht überdurchschnittliche Konsultation ambulanter Ärzte in Nordost- und Mitteldeutschland (s. Abb. 9). So lagen die Regionen Oberfranken und Würzburg sowie mittleres Mecklenburg/Rostock mit mehr als 8,8 Behandlungsfällen je Einwohner an der Spitze der ambulanten ärztlichen Inanspruchnahme. Weniger als 7,4 Behandlungsfälle je Einwohner wurden in

den Regionen Arnberg (Nordrhein-Westfalen) und Altmark (Sachsen-Anhalt) dokumentiert. Diese Regionen wiesen also die geringste ambulante Behandlungshäufigkeit auf, während sie zugleich als Regionen mit besonders hoher Anzahl stationärer Aufenthalte je 100.000 Einwohner auffielen.

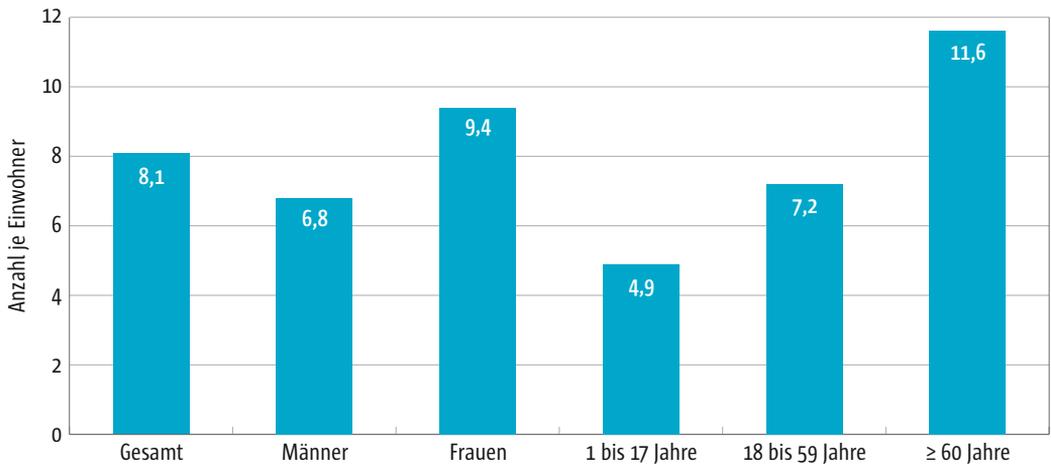
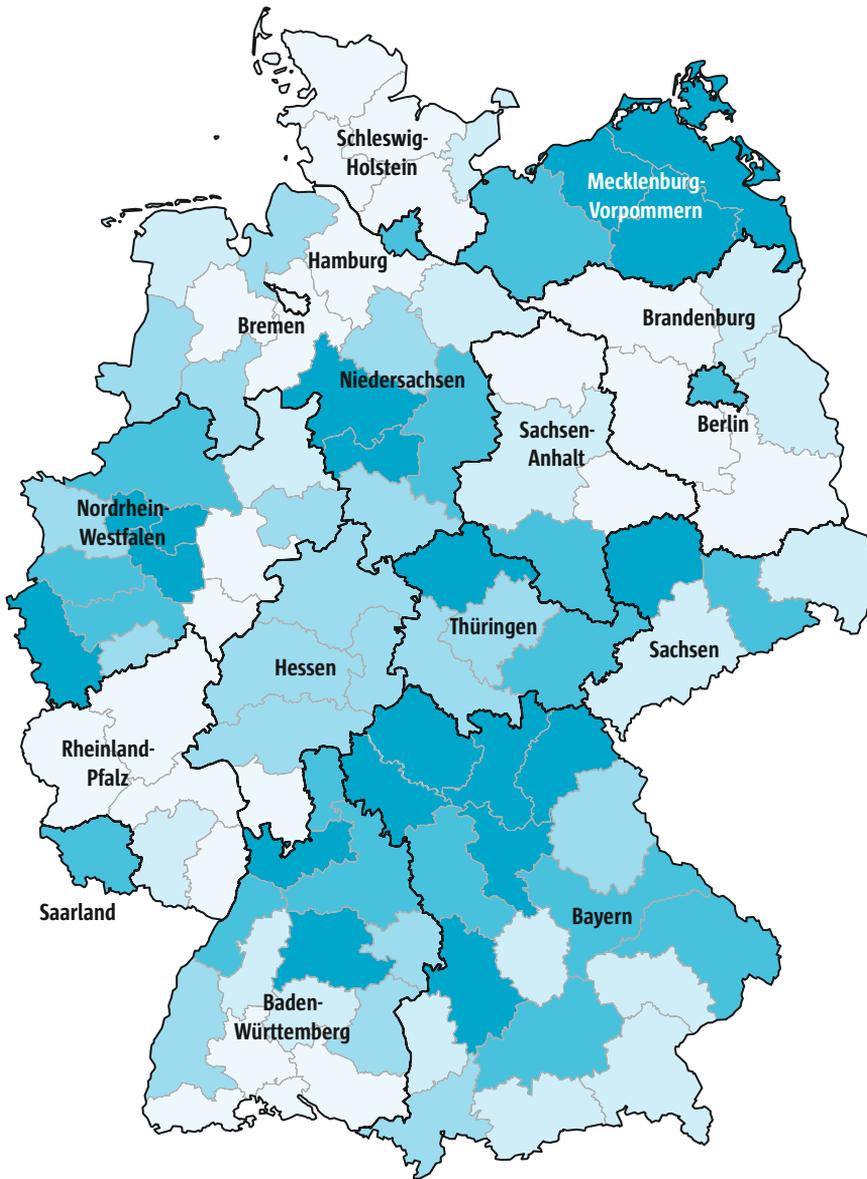


Abb. 8 Anzahl der jährlichen ambulanten Behandlungsfälle je Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018)

Die ärztliche Inanspruchnahme differenziert nach EBM-Facharztgruppen bzw. ärztlichen Versorgungsbereichen zeigt Tabelle 3 (zur Methodik s. Kap. 17.2.1). Mehr als Dreiviertel der Bevölkerung (76,4%) nahm eine hausärztliche Versorgung in Anspruch. Bei älteren Erwachsenen (ab 60 Jahren) lag die hausärztliche Behandlungsrate noch deutlich höher (92,6%). Kinder und Jugendliche waren mit einer Behandlungsrate von 69,2% erwartungsgemäß vorrangig beim Kinderarzt. Etwa ein Fünftel der Bevölkerung (19,1%) wurde notfallärztlich über den kassenärztlichen Bereitschaftsdienst oder die Notfallambulanzen der Krankenhäuser versorgt. Kinder und Jugendliche nahmen die Notfallversorgung überdurchschnittlich häufig (28,4 %) in Anspruch. In Ergänzung hierzu zeigt Abbildung 10 die Verteilung aller ambulanten Behandlungsfälle in Deutschland auf die EBM-Arztfachgruppen sowie die durchschnittliche Anzahl an behandelten Fällen je Gruppe. Etwa ein Drittel der gesamten Behandlungsfälle entfallen demnach auf die hausärztliche Versorgung (32,2%). An der hausärztlichen Versorgung beteiligte Ärzte haben im Durchschnitt je Einwohner 2,7 Behandlungsfälle behandelt, in den anderen Arztfachgruppen bzw. Versorgungsbereichen liegt der Anteil der Behandlungsfälle je Einwohner deutlich darunter.

Tabelle 3: Die Bedeutung der Tabellenspalten im Einzelnen

- **Pauschale:** Facharztgruppen des Einheitlichen Bewertungsmaßstabs (EBM) mit Versicherten- und Grundpauschalen sowie die ambulante Notfallversorgung (gem. Kapitel 1.2 des EBM) sowie den ihnen gleichgestellten und regional vereinbarten ambulanten Notfallleistungen
- **Behandlungsrate:** Anteil der Personen in der Bevölkerung, bei denen im Jahr mindestens einmal die jeweilige Pauschale abgerechnet wurde
- **Behandlungsrate männlich:** Anteil der männlichen Personen, die im Jahr mindestens einmal die jeweilige Fachgruppe (bzw. Versorgung) in Anspruch genommen haben
- **Behandlungsrate weiblich:** Anteil der weiblichen Personen, die im Jahr mindestens einmal die jeweilige Fachgruppe (bzw. Versorgung) in Anspruch genommen haben
- **Behandlungsrate 1 bis 17 Jahre:** Anteil aller Kinder und Jugendlicher in der Bevölkerung, die im Jahr mindestens einmal die jeweilige Fachgruppe (bzw. Versorgung) in Anspruch genommen haben
- **Behandlungsrate 18 bis 59 Jahre:** Anteil aller Personen im Alter von 18 bis 59 Jahren, die im Jahr mindestens einmal die jeweilige Fachgruppe (bzw. Versorgung) in Anspruch genommen haben



Anzahl der jährlichen ambulanten Behandlungsfälle je Einwohner*

□ 7,3–7,86 □ 7,87–8,01 □ 8,02–8,20 □ 8,21–8,38 □ 8,39–8,80

* standardisiert auf die deutsche Wohnbevölkerung

Abb. 9 Anzahl der jährlichen ambulanten Behandlungsfälle je Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018)

Tab. 3 Ärztliche Inanspruchnahme nach Grund- und Versichertenpauschale (2018)

Pauschale*	gesamt	männlich	weiblich	1–17 Jahre	18–59 Jahre	60 und mehr Jahre
Hausärzte	76,4	73,1	79,6	36,3	80,3	92,6
Internisten	17,1	16,2	17,9	1,3	13,6	32,9
Kinderärzte	11,8	12,2	11,3	69,2	0,5	0,0
Gynäkologen	20,8	0,3	40,8	4,3	28,4	15,6
HNO-Ärzte	15,8	14,7	16,9	14,6	13,5	21,1
Augenärzte	21,5	18,6	24,4	21,8	13,2	38,2
Chirurgen	11,4	11,0	11,7	6,4	11,6	13,8
Orthopäden	18,4	15,6	21,2	9,3	18,0	24,2
Urologen	8,1	12,2	4,1	1,4	5,6	16,9
Hautärzte	14,2	12,0	16,3	9,7	13,7	17,8
Nervenärzte	10,3	8,8	11,7	3,4	9,6	15,6
sonstige	13,5	9,1	17,8	9,0	12,9	17,4
Radiologen, Strahlentherapeuten, Nuklearmediziner	15,9	13,3	18,4	2,8	16,0	23,3
Notfall	19,1	18,3	19,9	28,4	18,2	15,7
Labormediziner	40,8	30,7	50,6	17,2	41,7	52,9
weitere vertragsärztliche Leistungen ohne Versicherten-/Grundpauschale	49,3	37,1	61,1	19,6	49,9	65,3
gesamt	90,5	87,1	93,8	92,9	87,4	95,1

*Facharztgruppen des Einheitlichen Bewertungsmaßstabs (EBM) mit Versicherten- und Grundpauschalen sowie die ambulante Notfallversorgung (gem. Kapitel 1.2 des EBM) sowie den ihnen gleichgestellten und regional vereinbarten ambulanten Notfallleistungen

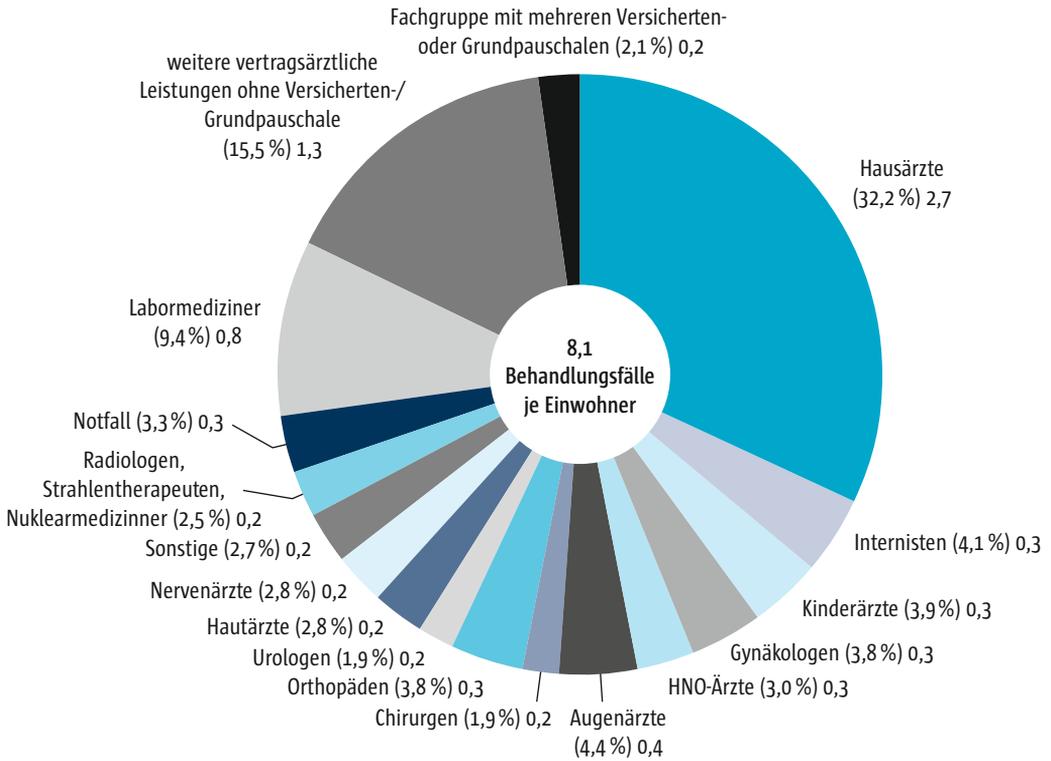
- **Behandlungsrate 60 und mehr Jahre:** Anteil aller Personen im Alter 60 Jahre und älter in der Bevölkerung, die im Jahr mindestens einmal die jeweilige Fachgruppe (bzw. Versorgung) in Anspruch genommen haben

17.6.4 Inanspruchnahme von Heilmitteln

Im Jahr 2018 nahmen von 100.000 Einwohnern mehr als 18.309 Personen eine Heilmittelbehandlung in Anspruch (s. Abb. 11). Bei den Frauen lag der Anteil der Heilmittelverordnungen (21.643 Verordnungen je 100.000 weibliche Einwohner) deutlich höher als bei Männern

(14.880 Verordnungen je 100.000 männliche Einwohner). Die Inanspruchnahme war bei Kindern und Jugendlichen der Altersklasse 1 bis 17 Jahre am geringsten und stieg mit dem Alter. Das Maximum wurde bei Personen erreicht, die 60 Jahre oder älter waren (29.159 Verordnungen je 100.000 Einwohner).

Die regionalen Unterschiede in den Behandlungsraten je 100.000 Einwohner in Deutschland zeigt Abbildung 12. Die höchsten Behandlungsraten mit über 20.000 Heilmittelpatienten im Jahr 2018 weisen Regionen aus den östlichen Bundesländern auf (z.B. Oberlausitz-Niederschlesien 26.792/100.000 Einwohner). Dagegen lagen die Behandlungsraten in



Behandlungsfälle je Einwohner: Die Anzahl von Behandlungsfällen bezogen auf alle Einwohner dargestellt, unabhängig davon, ob sie tatsächlich beim Arzt waren und selbst einen Behandlungsfall verursacht haben oder nicht.

Anteil Fälle je Einwohner: Die Anzahl der Behandlungsfälle je Fachgruppe summiert sich zur Anzahl der Fälle gesamt und wird hier als Anteilswert an allen Behandlungsfällen ausgedrückt.

Abb. 10 Ambulante Behandlungsfälle je Einwohner nach EBM-Facharztgruppen (2018)

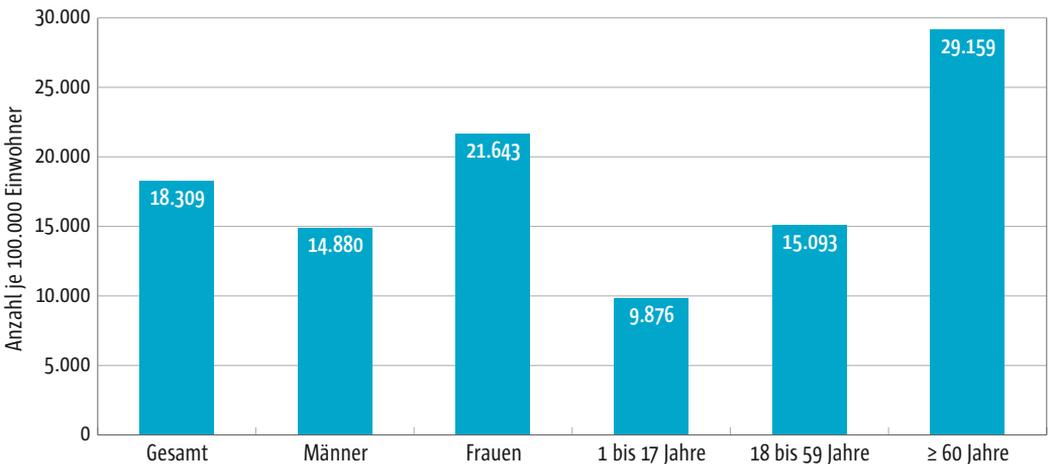
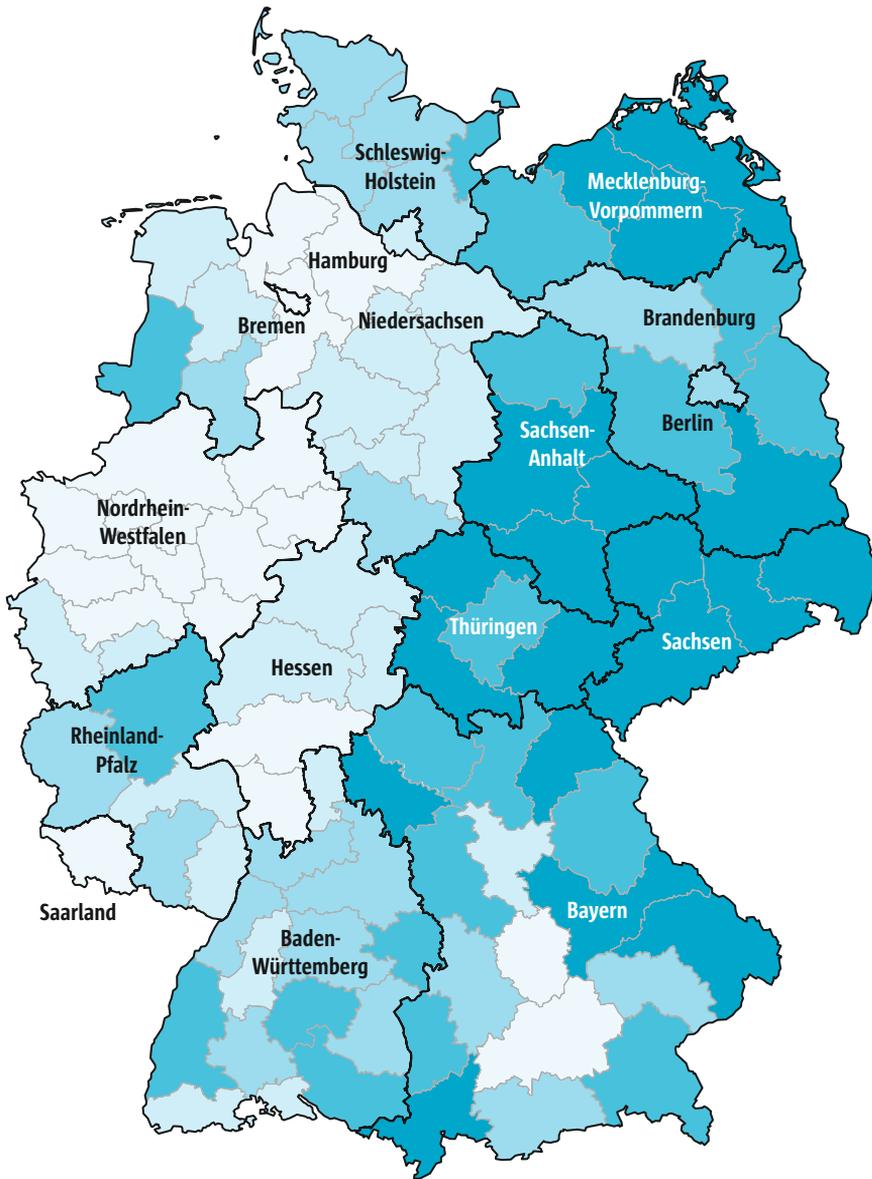


Abb. 11 Anzahl der jährlichen Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018)



Anzahl der jährlichen Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner *

□ 12.914–15.977 □ 15.978–17.786 □ 17.787–18.986 □ 18.987–20.488 □ 20.489–26.792

* standardisiert auf die deutsche Wohnbevölkerung

Abb. 12 Anzahl der jährlichen Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner nach Raumordnungsregion (2018)

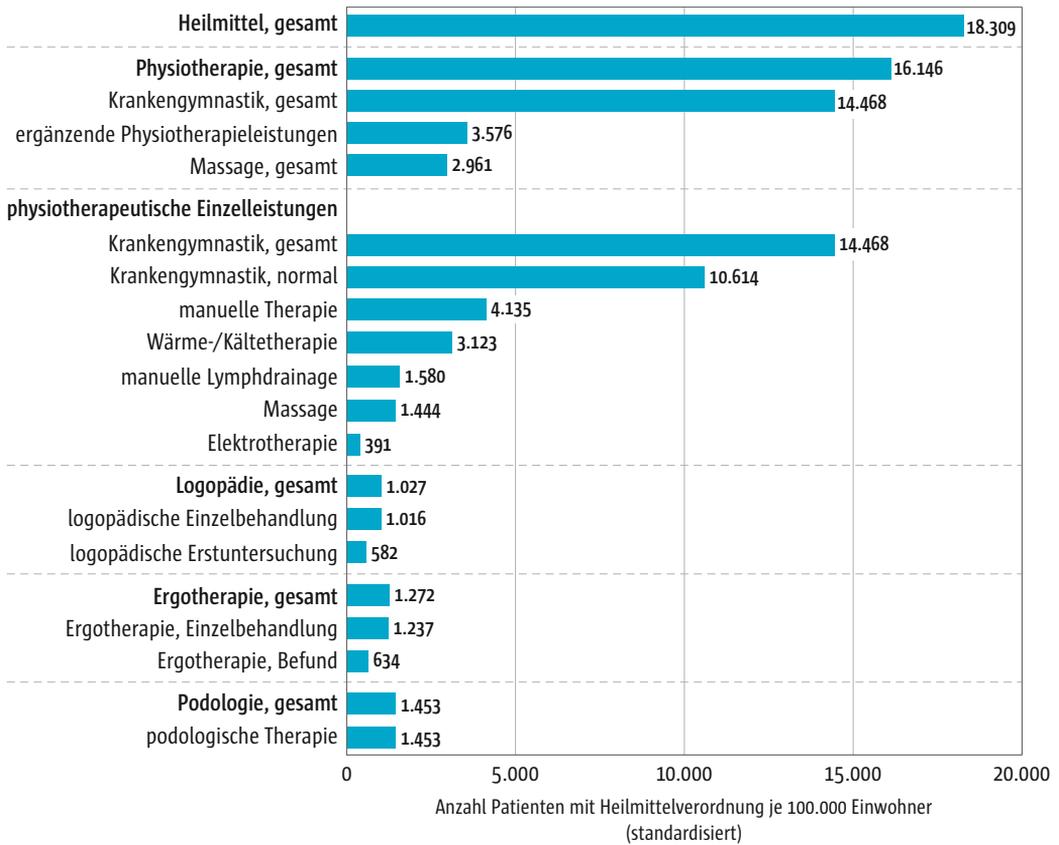


Abb. 13 Anzahl der jährlichen Patienten mit Heilmittelverordnung je 100.000 Einwohner nach Leistungsbereich und Heilmittelgruppe (2018)

bestimmten Regionen von Nord-Rhein-Westphalen (z. B. Emscher-Lippe 13.150/100.000 Einwohner) oder in Bremen (12.914/100.000 Einwohner) deutlich unter dem Bundesdurchschnitt.

Abbildung 13 zeigt die Verordnungsraten im Jahr 2018 in den vier Heilmittelbereichen Physiotherapie, Logopädie, Ergotherapie und Podologie und der darunter fallenden entsprechenden Einzelleistungen. Spitzenreiter unter den Leistungsbereichen war die Physiotherapie mit 16.146 Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner, die drei anderen Bereiche Logopädie, Ergotherapie und Podologie wurden mit unter 1.500 Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner vergleichsweise wenig in Anspruch genom-

men. Innerhalb der Physiotherapie fiel gemessen an der Verordnungshäufigkeit der Krankengymnastik die größte Bedeutung zu (14.468 je 100.000 Einwohner), gefolgt von Manueller Therapie (4.135/100.000 Einwohner) und Wärme-/Kältetherapien (3.123/100.000 Einwohner).

Der jährliche Heilmittelbericht des WIDo bietet einen Überblick über die Entwicklung der Heilmittelleistungen im GKV-Markt. Dem Bericht nach ist seit Jahren eine kontinuierliche Zunahme der Leistungen je 1.000 GKV-Versicherte zu beobachten. Insgesamt ist die Inanspruchnahme zwischen 2007 und 2016 von 566 Heilmittelleistungen auf 628 Leistungen je 1.000 GKV-Versicherte angestiegen (Waltersbacher 2017).

Elektronischer Anhang

Im elektronischen Anhang sind für das Jahr 2018 zusätzlich folgende Auswertungen verfügbar:

- Prävalenzen und Hospitalisierungsraten nach ICD-10-Einzeldiagnosen (erweiterte Tabelle mit mehr als hochgerechnet 1.000 Betroffenen)
- Prävalenzen und Hospitalisierungsraten auf Ebene der ICD-10-Diagnosegruppen
- die 40 häufigsten Behandlungsdiagnosen (ICD-10-Einzeldiagnosen) bei Männern/Frauen sowie für die Altersgruppen 1 bis 17 Jahre, 18 bis 59 Jahre und 60 Jahre und älter
- die 100 häufigsten stationären Behandlungsanlässe (Hauptdiagnosen) aller voll- und teilstationären Behandlungsfälle
- Verordnungshäufigkeit aller Wirkstoffgruppen gemäß ATC-Klassifikation auf der zweiten hierarchischen Ebene (alphabetisch)

Weitere:

- Zuordnung der EBM-Facharztgruppen zu 16 Arztfachgruppen für den Versorgungs-Report

Danksagung

Besonderer Dank gilt Bettina Gerste und Dr. Dagmar Drogan, die den Teil „Daten und Analysen“ im Versorgungs-Report konzeptionell aufgebaut über viele Jahre weiterentwickelt haben. Als Autorinnen der früheren Ausgaben haben sie wesentliche Teile dieses Beitrages verfasst. Ein besonderer Dank gilt auch Thomas Ruhnke für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung.

Literatur

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2017) Raumordnungsregionen Stand 31.12.2017. URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbearbeitung/downloads/downloadsReferenz2.html> (abgerufen am 25.03.2021)

Bundesministerium für Gesundheit (2019) Gesetzliche Krankenversicherung: Mitglieder, mitversicherte Angehörige und Krankenstand. Jahresdurchschnitt 2018. (Ergebnisse der GKV-

Statistik KM1/13). Stand: 18. März 2019. URL: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/Statistiken/GKV/Mitglieder_Versicherte/KM1_JD_2018.pdf (abgerufen am 19.03.2021)

Breitkreuz J, Schüssel K, Brückner G, Schröder H (2021) Krankheitslastbestimmung mit Prävalenzen und Schweregraden auf Routinedatenbasis. *Gesellschaft und Gesundheit Wissenschaft (GGW)* 21:24–34

Carnarius S, Heuer J, Stausberg J (2018) Diagnosis Coding in German Medical Practices: A Retrospective Study Using Routine Data. *Gesundheitswesen* 80:1000–1005

DIMDI (2018a) Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision German Modification Version 2018. URL: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2018/> (abgerufen am 19.03.2021)

DIMDI (2018b) Anatomisch-therapeutisch-chemische Klassifikation mit Tagesdosen. Amtliche Fassung des ATC-Index mit DDD-Angaben für die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2018. URL: <https://www.dimdi.de/dynamic/.downloads/Arzneimittel/atcddd/atc-ddd-amtlich-2018.pdf> (abgerufen am 19.03.2021)

Fricke U, Günther J, Niepraschk-von-Dollen K, Zawinell A (2018) Anatomisch-therapeutisch-chemische Klassifikation mit Tagesdosen für den deutschen Arzneimittelmarkt. ATC-Index mit DDD-Angaben. URL: https://www.wido.de/fileadmin/Dateien/Dokumente/Publikationen_Produkte/Arzneimittel-Klassifikation/wido_arz_atc_gkv-ai_2018.pdf (abgerufen am 19.03.2021)

Gerste B, Drogan D, Günster C (2016) Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen. In: Klauber J, Günster C, Gerste B, Robra B-P, Schmacke N (Hrsg.) *Versorgungs-Report 2015/2016*. Schattauer GmbH, Stuttgart, S. 391–445

Gerste B, Günster C (2014) Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen. In: Klauber J, Günster C, Gerste B, Robra BP, Schmacke N (Hrsg.) *Versorgungs-Report 2013/2014*. Schwerpunkt: Depression. Schattauer, Stuttgart, S. 258–308

Gerste B, Günster C (2012) Erkrankungshäufigkeiten und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen. In: Günster C, Klose J, Schmacke N (Hrsg.) *Versorgungs-Report 2012*. Schwerpunkt: Gesundheit im Alter. Schattauer, Stuttgart/New York, S. 313–384

Hartmann J, Weidmann C, Biehle R (2016) Validierung von GKV-Routinedaten am Beispiel von geschlechtsspezifischen Diagnosen. *Gesundheitswesen* 78:e53–e58

Hoffmann F, Icks A (2012) Unterschiede in der Versichertenstruktur von Krankenkassen und deren Auswirkungen für die Versorgungsforschung: Ergebnisse des Bertelsmann Gesundheitsmonitors. *Das Gesundheitswesen* 74:291–297. doi:10.1055/s-0031-1275711

Jaunzeme J, Eberhard S, Geyer S (2013) Wie „repräsentativ“ sind GKV-Daten? Demografische und soziale Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen einer GKV-Versichertenpopulation, der Bevölkerung Niedersachsens sowie der Bundesrepublik am Beispiel der AOK Niedersachsen. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 56:447–454. doi:10.1007/s00103-012-1626-9

- Kreienbrock L, Pigeot I, Ahrens W (2012) Epidemiologische Methoden. In: Epidemiologische Methoden, 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Schmucker C, Beydoun G, Günster C (2019) Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen. In: Günster C, Klauber J, Robra B-P, Schmacke N, Schmucker C (Hrsg.) Versorgungs-Report Früherkennung. Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin, S. 211–248
- Schubert I, Ihle P, Koster I (2010) Interne Validierung von Diagnosen in GKV-Routinedaten: Konzeption mit Beispielen und Falldefinition. Das Gesundheitswesen 72:316–322
- Schwabe U, Ludwig W-U, Paffrath D, Klauber J (2018) Arzneiverordnungen 2018 im Überblick. In: Schwabe U, Paffrath D, Ludwig W-D, Klauber J (Hrsg.) Arzneiverordnungs-Report 2019. Springer, Berlin/Heidelberg, S. 4–30
- Statistisches Bundesamt (2016) Gesundheit – Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik). Diagnosen, Prozeduren, Fallpauschalen und Case Mix der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern 2016. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/GesellschaftUmwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/fallpauschalen-krankenhaus-2120640167004.pdf;jsessionid=D8E623A6E05D2146F69BBCDFBCE22FB6.live731?__blob=publicationFile (abgerufen am 23.03.2021)
- Statistisches Bundesamt (2021a) Bevölkerung: Deutschland, Stichtag. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (abgerufen am 19.03.2021)
- Statistisches Bundesamt (2021b) Anzahl der abgerechneten Fallpauschalen der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. Die Tabelle wurde am 19.03.2021 unter www.gbe-bund.de erstellt.
- Tillmanns H, Schillinger G, Dräther H (2019) Früherkennung bei Erwachsenen in der gesetzlichen Krankenversicherung: Ergebnisse einer AOK-Sekundärdatenanalyse. In: Günster C, Klauber J, Robra BP, Schmacke N, Schmucker C (Hrsg.) Versorgungs-Report Früherkennung. Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin
- Waltersbacher A (2017) Heilmittelbericht 2017. URL: https://www.wido.de/fileadmin/Dateien/Dokumente/Publikationen_Produkte/Buchreihen/Heilmittelbericht/wido_hei_hmb_2017.pdf (abgerufen am 26.03.2021)
- Zok K (2015) Private Zusatzleistungen in der Arztpraxis. Ergebnisse einer bundesweiten Repräsentativ-Umfrage unter gesetzlich Versicherten. WldOmonitor 12



Caroline Schmuker

Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg. Weiterqualifikation im Fachbereich Epidemiologie an der London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM). Berufliche Stationen: 2009 bis 2011 Trainee am Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDO) im Bereich Gesundheitspolitik und Systemanalysen, zwischen 2012 und 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin am IGES Institut Berlin. Seit November 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Qualitäts- und Versorgungsforschung am WiDO.



Ghassan Beydoun

Studium der Informatik in Berlin. Langjährige Berufserfahrung in der Software- und Datenbankentwicklung im Gesundheitswesen. Seit 2012 Mitarbeiter des Wissenschaftlichen Instituts der AOK (WiDO) im Bereich Qualitäts- und Versorgungsforschung, in verschiedenen Projekten tätig.



Dipl.-Math. Christian Günster

Studium der Mathematik und Philosophie in Bonn. Seit 1990 beim Wissenschaftlichen Institut der AOK (WiDO). Von 2002 bis 2008 Mitglied des Sachverständigenrates nach § 17b KHG des Bundesministeriums für Gesundheit. Leitung des Bereichs Qualitäts- und Versorgungsforschung. Mitherausgeber des Versorgungs-Reports. Arbeitsschwerpunkte sind Methoden der Qualitätsmessung und Versorgungsanalysen mittels Routedaten.

Abbildungsverzeichnis

I Grundlagen und die globale Bedeutung des Klimawandels für die Gesundheit

1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

Abb. 1	Jährliche Temperaturmittelwerte in Deutschland seit 1881 (Rahmstorf 2020, Creative Commons-Lizenz CC BY-SA 2.0, Daten: opendata.dw.de)	10
Abb. 2	CO ₂ -Konzentrationen der Atmosphäre, rekonstruiert aus Eisbohrkerndaten und gemessen seit den späten 1950er-Jahren an der Station Mauna Loa auf Hawaii. Im Jahr 2020 betrug die Konzentration im Jahresdurchschnitt etwa 414 ppm (engl. parts per million) und war damit 48% höher als der Wert vor Beginn der industriellen Revolution. (Daten: Mauna Loa Messstation; https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html ; Eisbohrkerne: https://www.co2.earth/co2-ice-core-data)	11
Abb. 3	Globale Mitteltemperatur seit dem Ende der letzten Eiszeit bis heute als Abweichung vom vorindustriellen Mittel (Stefan Rahmstorf, Daten: Shakun et al. 2012; Marcott et al. 2013; NASA GISTEMP bis 2019)	11
Abb. 4	Szenarien der globalen Erwärmung bis 2100. Dargestellt ist die von Klimamodellen simulierte globale Mitteltemperatur als Abweichung vom vorindustriellen Niveau. (Daten: ISIMIP2b; https://www.isimip.org/protocol/#isimip2b)	13
Abb. 5	Dürrezustand Gesamtboden bis ca. 1,8 m in Deutschland am 15. September 2020 (UFZ-Dürremonitor/Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung; https://www.ufz.de/index.php?de=37937)	15
Abb. 6	Satellitenbild des subtropische Sturms Alpha, der am 18. September 2020 auf die Küste Portugals traf. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpha_2020-09-18_1305Z.jpg)	16
Abb. 7	Erwärmungstrend der Tagesmitteltemperatur am 24. Dezember an der Station des Deutschen Wetterdienstes Berlin-Dahlem in der Periode 1950–2018. Weiße Punkte zeigen Jahre mit „weißen Weihnachten“ (definiert als Jahre, in denen am 24 und/oder 25. Dezember morgens um 7 Uhr mindestens 1 cm Schnee gemessen wurde). (Daten: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html)	18

2 Klimawandel und Gesundheit aus globaler Perspektive – eine Übersicht über Risiken und Nebenwirkungen

Abb. 1	Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (Abbildungen 1–3 angepasst nach noch unveröffentlichter Dissertation mit dem Arbeitstitel: „Climate Change and Public Health – Regime Types, Perception Patterns and Policy Responses in International Comparison“ von Max Jungmann)	24
Abb. 2	Ökosystemvermittelte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit	25
Abb. 3	Sozial vermittelte Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit	27
Abb. 4	Klimawandelbedingte Risiken und Verhältnis zu Klimaschutz, Anpassung und Resilienz (adaptiert nach Viner et al. 2020, basierend auf der Risiko-Definition des Weltklimarats [IPCC 2012], veröffentlicht unter Creative Commons-Lizenz)	28

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

5 Individuelle und regionale Risikofaktoren für hitzebedingte Hospitalisierungen der über 65-jährigen in Deutschland

Abb. 1	Die durchschnittlichen Hitzeeffekte für unterschiedlich vulnerable Versichertengruppen. Die Abbildung zeigt die durchschnittlichen Hitzeeffekte für Versicherte in den Perzentilen [0,25], [25,50], [50,75], [75,85], [85,95], [95,99] und [99,100] der prognostizierten Hospitalisierungswahrscheinlichkeit mit 95%-Konfidenzintervallen aus der zweiten Regressionsgleichung. Die horizontale farbige Linie zeigt den mittleren Hitzeeffekt (39,79) aus Tabelle 1 mit 95%-Konfidenzintervall. Standardfehler sind auf der Ebene der PLZ-Gebiete geclustert. Die Zahl der Beobachtungen in der Regression entspricht 506.966.676.	68
--------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Abb. 2	Morbiditätsunterschiede zwischen den am stärksten und am wenigsten von Hitze betroffenen Versicherten. Die abgebildeten Koeffizienten geben den durchschnittlichen Unterschied der Versicherten im oberen 1%-Perzentil und den Versicherten bis zum 75%-Perzentil der prognostizierten Vulnerabilität in Bezug auf verschiedene Erkrankungen (Panel I) und verschriebene Arzneimittel (Panel II) an. Die 95%-Konfidenzintervalle der Koeffizienten werden in der Abbildung aufgrund ihrer geringen Größe von den Punktschätzern verdeckt. Die zugrunde liegenden Regressionen basieren auf 385.294.673 Beobachtungen. Standardfehler sind auf der Ebene der PLZ-Gebiete geclustert. _____	69
Abb. 3	Geografische Verteilung der Hitzetage, Hitze-Vulnerabilität und hitzebedingten Hospitalisierungen im Jahr 2018. Panel I zeigt die Verteilung der heißen Tage mit Temperaturen von mindestens 30°C. Panel II zeigt den Anteil der Versicherten in jedem PLZ-Gebiet, der vulnerabel gegenüber Hitze ist, d.h. eine prognostizierte Vulnerabilität im oberen 25%-Perzentil aufweist. Panel III zeigt die zusätzlichen durch hitzebedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte, die auf Basis der Regressionskoeffizienten in Abbildung 1 für das Gesamtjahr hochgerechnet wurden. Gebiete mit weniger als 100 Versicherten in Panel II und III sind grau eingefärbt. _____	71
Abb. 4	Vier-Felder-Matrix zur Hitzebelastung und hitzebedingten Hospitalisierung im Jahr 2018. Die Abbildung ordnet die PLZ-Gebiete in einer Vier-Felder-Matrix an. Auf der y-Achse ist die relative Abweichung der zusätzlichen durch Hitze bedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte vom Mittelwert angegeben. Auf der x-Achse ist die absolute Abweichung der Zahl der Hitzetage vom Mittelwert angegeben. Die Größe der Kreise ist proportional zur Anzahl der Versicherten im PLZ-Gebiet. Es werden nur Gebiete mit mindestens 100 Versicherten abgebildet. _____	72
Abb. 5	Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der Wohnorte (PLZ-Gebiete) und der Vulnerabilität der Versicherten. Die Abbildung zeigt, inwiefern Eigenschaften der PLZ-Gebiete die Zahl der vulnerablen Versicherten vorhersagen können. Die geschätzten Koeffizienten stammen aus einer LASSO-Regression, welche die Koeffizienten nicht relevanter Variablen gleich Null setzt. Die Anzahl der heißen Tage bezieht sich auf das Jahr 2018. Die Krankenhausausgaben beziehen sich nur auf die AOK-Versicherten im PLZ-Gebiet und auf das Vorjahr 2017. PLZ-Gebiete mit weniger als 100 Versicherten werden ausgeschlossen. Die Regression basiert auf 7.264 Beobachtungen. _____	73
Abb. 6	Projektionen der Hitzetage und hitzebedingten Hospitalisierungen in zukünftige Klimaszenarien. Panel I zeigt die Zahl der Hitzetage mit mindestens 30°C pro Jahr und PLZ-Gebiet, Panel II die Zahl der hitzebedingten Hospitalisierungen je Million Versicherte, Jahr und PLZ-Gebiet. Die hochgerechnete hitzebedingte Hospitalisierungsrate in Panel II basiert auf der prognostizierten Vulnerabilität der Versicherten in 2018 und den Regressionskoeffizienten in Abbildung 1. Die Gebiete mit weniger als 100 Versicherten in Panel II sind grau eingefärbt. _____	75
6 Hitzewellen: neue Herausforderungen für die medizinische Versorgung von älteren Menschen		
Abb. 1	Maximaltemperatur und Mortalität im Jahr 2003 und den Referenzjahren 2001, 2002, 2004 und 2005 von Juli bis Oktober bei Pflegeheimbewohnern in Baden-Württemberg (nach Klenk et al. 2010) _____	81
Abb. 2	Relative Veränderung der Mortalität in Abhängigkeit von der täglichen Maximaltemperatur im Vergleich zu einer Referenztemperatur von 20°C bei zuhause (links) oder im Pflegeheim (rechts) lebenden Versicherten der AOK Baden-Württemberg mit Pflegestufe 1, 2 oder 3 in den Jahren 2008–2015 _____	83
7 Hitzebelastungen im Arbeitssetting: die Sicht der Arbeitsmedizin		
Abb. 1	Faktoren für Hitzestress (modifiziert nach Kenny et al. 2020) _____	91
Abb. 2	Beispielhafte Informationsgrafik des europäischen Projekts Heat-Shield zur Vermeidung hitzebedingter Erkrankungen bei Beschäftigten in Europa (https://heatshield.zonalab.it/infographics.php?lang=de) _____	92
Abb. 3	Flussdiagramm (modifiziert nach Kjellstrom et al. 2016, mit freundlicher Genehmigung von Annual Reviews, Inc.) _____	97
Abb. 4	Darstellung der Arbeitsunfähigkeitstage nach ICD-10 T67 der Jahre 2008 bis 2018 (Daten aus BMG 2018a) _____	98
9 Klimawandelbedingte Veränderungen in der UV-Exposition: Herausforderungen für die Prävention UV-bedingter Hauterkrankungen		
Abb. 1	Altersstandardisierte Erkrankungs- und Sterberaten des malignen Melanoms nach Geschlecht, ICD-10 C43, Deutschland 1999–2016/17, Prognose (Inzidenz) bis 2020 je 100.000 (alter Europastandard) (RKI u. GEKID 2019) _____	122
Abb. 2	Verlauf der Mittagswerte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke (a) sowie Konzentration des stratosphärischen Gesamt ozons (b) an der Messstation Zingst zwischen April und September 2013 (Augustin et al. 2018a) _____	124

10 Der Einfluss des Klimawandels auf die Allergenexposition: Herausforderungen für die Versorgung von allergischen Erkrankungen

Abb. 1 Habitategnung in Europa von drei Ambrosia-Arten. Dargestellt sind die gegenwärtigen Klimabedingungen sowie die zukünftigen IPCC-Klima-Szenarien RCP6.0 und RCP8.5 für die Jahre 2070 bis 2099. Die Karten zeigen durchschnittliche Werte aus dem MAXENT-Model, welche aus 15 Wiederholungen abgeleitet wurden (modifiziert nach Rasmussen et al. 2017, Creative Commons-Lizenz CC-BY 4.0). _____ 136

11 Der Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung von Infektionserkrankungen – am Beispiel der Lyme-Borreliose

Abb. 1 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019 (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, <https://survstat.rki.de>, Abfragedatum: 11.11.2020) _____ 148

Abb. 2 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019, stratifiziert nach Alter und Geschlecht (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, <https://survstat.rki.de>, Abfragedatum: 11.11.2020) _____ 149

12 Klimawandel und Gesundheit: Welche Rolle spielt der Klimawandel im Gesundheitsbewusstsein der Befragten? Ergebnisse einer deutschlandweiten Bevölkerungsbefragung

Abb. 1 Klimawandel und Gesundheit: Informationsstand in der Bevölkerung _____ 161

Abb. 2 Subjektive Beeinträchtigung durch Hitze nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand _____ 163

Abb. 3 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor Hitze (n = 3.006) _____ 164

Abb. 4 Subjektive Beeinträchtigung durch erhöhte Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand _____ 166

Abb. 5 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor UV-Strahlung (n = 3.006) _____ 166

Abb. 6 Subjektive Beeinträchtigung durch Schadstoffe in der Luft nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand _____ 168

Abb. 7 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen bei erhöhter Schadstoffbelastung in der Luft (n = 3.006) _____ 169

Abb. 8 Subjektive Beeinträchtigung durch Pollen nach Alter, Geschlecht und Gesundheitszustand _____ 170

Abb. 9 Umsetzung von Verhaltensmaßnahmen bei erhöhter Pollenbelastung (n = 1.345, Personen mit pollenallergischen Beschwerden, *abweichend Grundgesamtheit: zutreffende Angaben n = 992) _____ 171

Abb. 10 Nutzung von Warn- und Informationsdiensten zu Umweltbelastungen _____ 172

III Strukturelle und organisatorische Anpassungen an den Klimawandel

15 Klimasensible Stadtplanung und Stadtentwicklung

Abb. 1 Gegenwärtige (2013) und zukünftige Problemgebiete (2100) bei Hitzeperiode in der Metropole Ruhr (RVR o.J.: S. 78, mit freundlicher Genehmigung) _____ 210

Abb. 2 Bewertung von Ausgleichs- und Lasträumen im Zuge der Klimaanpassung für das Ruhrgebiet (RVR o. J.: S. 88, mit freundlicher Genehmigung) _____ 212

IV Daten und Analysen

17 Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen

Abb. 1 AOK-Versicherte nach Geschlecht und Altersgruppen im Jahr 2018 (in Mio.) _____ 237

Abb. 2 Alters- und Geschlechtsverteilung der deutschen Wohnbevölkerung und der AOK-Versicherten im Jahr 2018 _____ 241

Abb. 3 Anzahl der jährlichen Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018) _____ 247

Abb. 4 Anzahl der jährlichen Krankenhauspatienten je 100.000 Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018) _____ 248

Abb. 5 Anzahl der jährlichen Arzneverordnungen je Einwohner nach Geschlecht und Alter (2018) _____ 250

Abb. 6 Anzahl der jährlichen Arzneverordnungen je Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018) _____ 251

Abb. 7 Die am häufigsten verordneten Wirkstoffgruppen in Deutschland (2018) _____ 253

Abb. 8 Anzahl der jährlichen ambulanten Behandlungsfälle je Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018) _____ 254

Abb. 9 Anzahl der jährlichen ambulanten Behandlungsfälle je Einwohner nach Raumordnungsregionen (2018) _____ 255

Abb. 10 Ambulante Behandlungsfälle je Einwohner nach EBM-Facharztgruppen (2018) _____ 257

Abb. 11 Anzahl der jährlichen Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner nach Alter und Geschlecht (2018) _____ 257

Abb. 12 Anzahl der jährlichen Heilmittelpatienten je 100.000 Einwohner nach Raumordnungsregion (2018) _____ 258

Abb. 13 Anzahl der jährlichen Patienten mit Heilmittelverordnung je 100.000 Einwohner nach Leistungsbereich und Heilmittelgruppe (2018) _____ 259

Tabellenverzeichnis

I Grundlagen und die globale Bedeutung des Klimawandels für die Gesundheit

2 Klimawandel und Gesundheit aus globaler Perspektive – eine Übersicht über Risiken und Nebenwirkungen

Tab. 1 Die zehn Komponenten des operationalen Rahmenwerks für klimaresiliente Gesundheitssysteme nach WHO 2015 _____ 30

II Gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels und Herausforderungen für die medizinische Versorgung in Deutschland

3 Der Einfluss von Temperatur auf die Mortalität

Tab. 1 Ausgewählte Studien zum Zusammenhang zwischen Hitze und Mortalität in Deutschland _____ 47

4 Der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Handlungsansätze und die besondere Herausforderung durch Arzneimittelwechselwirkungen

Tab. 1 Medikamenteninteraktion und Nebenwirkungspotenzial in Hitzeperioden bei ausgewählten Wirkstoffen bzw. Indikationsklassen _____ 59

5 Individuelle und regionale Risikofaktoren für hitzebedingte Hospitalisierungen der über 65-jährigen in Deutschland

Tab. 1 Schätzung des bedingten durchschnittlichen Hitzeeffektes. Die Tabelle zeigt die geschätzten Koeffizienten der ersten Regressionsgleichung. Die abhängige Variable ist die tägliche Hospitalisierungsrate je Million Versicherte. Der Parameter β_1 misst den durchschnittlichen Effekt eines Hitzetages auf die Hospitalisierungsrate. Ein Ablehnen der Nullhypothese $\beta_2 = 0$ impliziert, dass Heterogenität präsent ist und der Vulnerabilitäts-Proxy $\hat{S}(Z_{it})$ Komponenten dieser Heterogenität erfasst. Standardfehler sind auf Ebene der PLZ-Gebiete geclustert und in Klammern angegeben. (***) $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$) _____ 67

6 Hitzewellen: neue Herausforderungen für die medizinische Versorgung von älteren Menschen

Tab. 1 Alters- und geschlechtsadjustierte tägliche Mortalität/100.000 Personentage bei rund 390.000 Versicherten über 65 Jahren der AOK Baden-Württemberg, die mit Pflegestufen 1 bis 3 entweder im Pflegeheim oder zu Hause leben, bezogen auf die maximale Tagestemperatur, 2008-2015 _____ 82

7 Hitzebelastungen im Arbeitssetting: die Sicht der Arbeitsmedizin

Tab. 1 Darstellung der physiologischen Prozesse, die durch hohe Temperaturen in Gang gesetzt werden (Mora et al. 2017) _____ 90

8 Interaktion von Temperatur und Luftschadstoffen: Einfluss auf Morbidität und Mortalität

Tab. 1 Handlungsebenen und empfohlene Aktivitäten (nach Lowe et al. 2011) _____ 113

12 Klimawandel und Gesundheit: Welche Rolle spielt der Klimawandel im Gesundheitsbewusstsein der Befragten? Ergebnisse einer deutschlandweiten Bevölkerungsbefragung

Tab. 1 Beschreibung der Stichprobe anhand soziodemografischer und gesundheitsbezogener Merkmale _____ 160

Tab. 2 Folgen des Klimawandels: Besorgnis in Bezug auf die eigene Gesundheit (Anteil der Antwortkategorie *sehr/ziemlich* in Prozent) _____ 162

Tab. 3 Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor Hitze (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung _____ 165

Tab. 4 Verhaltensmaßnahmen zum Schutz vor UV-Strahlung (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung _____ 167

Tab. 5 Verhalten bei erhöhter Schadstoffbelastung in der Luft (Antwortkategorie *oft/immer*) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung _____ 169

Tab. 6 Verhalten bei erhöhter Pollenbelastung (Antwortkategorie *oft/immer*) von Personen mit Pollenallergie bzw. -beschwerden (n = 1.345) differenziert nach Alter, Gesundheitszustand, Informiertheit und Risikoeinschätzung _____ 171

13 Gut für das Klima, gut für die Gesundheit: Perspektiven für individuelle Verhaltensänderungen

Tab. 1 Auswahl gesundheitlicher Auswirkungen des Klimawandels (Pop-Jordanova u. Grigorova 2015, Creative Commons-Lizenz CC BY-NC-ND 4.0) _____ 178

Tab. 2 Auswahl von Konsumbereichen privater Haushalte mit relevanten Quellen für Treibhausgasemissionen _____ 181

III Strukturelle und organisatorische Anpassungen an den Klimawandel

14 Notwendige Anpassungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung aufgrund hitzebedingter Dehydrationsrisiken

Tab. 1 Risikogruppen und Risikofaktoren für Dehydration bei Hitze (in Anlehnung an BMUB 2017) _____ 195

IV Daten und Analysen

17 Diagnosehäufigkeit und Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen

Tab. 1 Prävalenzen und Hospitalisierungsquoten für die 30 häufigsten Behandlungsdiagnosen nach ICD-Dreistellern (2018) _____ 245

Tab. 2 Die 30 häufigsten stationären Behandlungsanlässe des Jahres 2018 bei Krankenhauspatienten in Deutschland _____ 249

Tab. 3 Ärztliche Inanspruchnahme nach Grund- und Versichertenpauschale (2018) _____ 256

Sachwortverzeichnis

A

Adaptationsfähigkeit 111
Akklimatisation 99
Allergenexposition 133
Allergenkarenz 137
Allergie 134
Allergieentwicklung 140
Allergologie 137

- Honorar 138
- Versorgungsstudie 137
- Zusatzbezeichnung 138

alternde Gesellschaften 46
Altersarmut 74
Ambrosia 135
Anatomisch-Therapeutische Klassifikation (ATC) 239
Antiallergika 138
Arbeitskleidung 94
Arbeitsmedizin 89, 93, 98
Arbeitsplatz, Hitzebelastung 93
Arbeitsschutzmaßnahme 99
Arbeitsstättenregel 92, 99
Arteriosklerose 108
Arzneimittelverschreibung 68
Arzneimittelwechselwirkung 53
Arzneimittel, Wirksamkeit 58
Arzneiverordnung

- ATC 252
- Inanspruchnahme 250

ärztliche Inanspruchnahme 252
Asthma bronchiale 107, 137
Atemwegserkrankung 43, 106
Atemwegsinfekt 107
Ausbildung, Gesundheitsfachberufe 57, 137, 183

B

Basalzellkarzinom 121
Behandlungsanlass, stationärer 249
Behandlungsdiagnose

- Hospitalisierungsrate 245
- Prävalenz 245

Behandlungsfälle, EBM-Facharztgruppe 238
Belastung, subjektive 163
Bevölkerungsbefragung 157
Bevölkerungsgruppe, vulnerable 42, 56, 194
Bluthochdruck 56
Borreliose 145, 147

- Meldepflicht 152

Bronchitis 107

C

chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) 106
CO₂-Fußabdruck 183
Co-Benefit 31, 57, 181, 182

D

Dach- und Fassadenbegrünung 209
Dehydration 191

- Risikofaktor 194

Deutscher Wetterdienst 172
Diabetes 56
Dürre 15, 178

E

Eistage 17
Eiszeit 10
Elektrolyte 100
Elektrolythaushalt 192
Elektronisches Pollennetzwerk (ePIN) 139
Erklärungsmodell, Verhalten 180
Erkrankung

- allergische 122, 133, 170
- Atemwege 43, 106
- Behandlungsprävalenz 240, 244
- chronische 63, 95, 111, 164, 195
- Haut 119, 166
- kardiovaskuläre 42, 107
- vektorübertragene 26, 145, 149, 152
- wasser- und lebensmittelübertragene 25

Ernährung 26, 32, 100
ESPEN-Leitlinie 196, 198
Exposition 106, 109
Expositionsniveau 111
Expositions-Wirkungs-Beziehung 108
Eksikkose 192
Extremtemperatur 42, 106
Extremwetter 14, 24, 90, 178

F

Feinstaub 106, 109
Frühwarnsystem 172, 198

G

Gefährdungsbeurteilung 92
Geschlechtsstandardisierung AOK-Versicherter 240
Gesundheitsleistung

- Datengrundlage 236
- Inanspruchnahme 235, 240

Gesundheitspolitik 224
Großschadensereignis 222

H

Hausarzt 84
Hauterkrankung, UV-bedingte 119
Hautkrebs 121
Health-in-all-policies-Ansatz 207
Heilmittel, Inanspruchnahme 256
Herzinfarkt 55, 107
Herzinsuffizienz 56, 107
Herz-Kreislauf-Erkrankung 53
Hitze

- Arbeitskleidung 94
- Arbeitsplatz 89, 91, 93
- Arbeitsunfähigkeit 96
- Demenz 69
- Produktivität 96
- Stadt 209

Hitzeaktionsplan 57, 111, 197
Hitzeexposition 70, 91
Hitzestress 91
Hitzetag 65
Hitzewelle 14, 24, 42, 55, 79, 90, 106, 163, 178, 198

- EuroMOMO-Projekt 199

Holozän 10
Hospitalisierung, hitzebedingte 43, 63, 67, 90, 95
Hurrikan-Saison 17

I

ICD-10-GM, Datenanalyse 239
ICD-10 T67, Schäden durch Hitze 97
Immuntherapie 137, 138
Inanspruchnahme

- Arzneverordnung 250
- ärztliche 252
- Gesundheitsleistung 235
- Heilmittel 256
- stationäre Behandlung 246

Infektion 44
Infektionserkrankung 145
Informationsstand Bevölkerung 161
Infrastrukturpolitik 230
interstitielle Lungenerkrankung (ILD) 107
invasive Art 135
IPCC-Klimaszenario 135
ischämische Herzerkrankung 107
Ixodes ricinus 145, 146

J

Jetstream 14

K

Katastrophenfall 85
Kippunkt 29
Klimaanlage 112
Klimagerontologie 199
Klimamodell 48
Klimaresilienz 29
Klimaschutz 28, 74, 179

- sozialverträglicher 184
- Stadtplanung 208

Klimawandel 9, 23, 48, 53, 106, 108, 125, 133, 145, 157, 177, 178, 219

- Anpassung 29, 163, 172, 177, 179, 191, 205, 208, 219
- Befragung 157
- Borreliose 150
- Deutschland 9
- weltweit 23

KlimawandelGrundlagen 9
Klimaziel 28
Konsumverhalten 181
Krankenhauseinweisung, hitzebedingte 43, 63, 67, 90, 95
Kühlung, Arbeitsraum 99

L

Lebensalter 79, 90
Lebensstil 31

- klimafreundlicher 182

Luftqualität 109
Luftschadstoff 105, 108, 167

- Krankenhauseinweisung 107

Luftverschmutzung 25, 66, 108
Lungenkrebs 106
Lyme-Borreliose 145

M

malignes Melanom 121
Medikamenteninteraktion 59
Medikamenten-Review 84
Meeresspiegelanstieg 19, 178
Megatrend 205
Migration 27
Mitigation 208
Mobilität 32
Morbidity 42, 53, 69, 105, 178
Mortality 42, 80, 90, 107
„mortality displacement“-Effekt 46

N

nicht-melanozytärer Hautkrebs 121

O

ökologische Krise 205

ökologische Trauer 19

Osmolalität 193

Osmolarität 193

Ottawa-Charta 207

Ozon 109, 123, 178

- Hauterkrankung 120

Ozon-Episode 109

Ozonkonzentration 135

P

Pariser Klimaabkommen 12, 28

Partikel 106, 107

Pflegebedürftige 73

Pflegeheim, Hitzewelle 198

Physiologie 42

Pilzsporen 134

Planetary Health 32

Plattenepithelkarzinom 121

Pneumonie 107

Pollen 134, 169

Pollenallergenität 135

Pollenallergie 170

Pollenexposition, Wetterlage 135

Pollensaison 134

postfossile Stadt 213

Prävention 57, 84, 98, 111, 139, 172, 196, 198, 221

- Borreliose 152

Projektion 48, 109

psychische Gesundheit 45, 178, 214

Public Health 180, 206

R

Raumklimaanalyse 93

Raumordnungsregion 240

Raumtemperatur 92, 98

Repräsentative Konzentrationspfade, RCP 12, 74

resiliente Stadt 213

Resilienz 27

Rhinitis 137

Risikofaktor 90, 162

- Vorerkrankung 68

Routinedaten 65, 81, 236

- Validität 242

S

Schlaganfall 56, 107

Schneetage 17

Schutzkleidung 94

Sonnenbrand 121

Sozioökonomie 66, 95, 111

SSP 12, 74

Stadt

- Gesundheit 216
- Gesundheitsrisiko 209
- Wärmeinsel 46

Stadtblau 214

Stadtgrün 216

Stadtplanung 205

Starkregen 15

stationäre Behandlung

- Anlass 249
- Inanspruchnahme 246

Studie

- Kohorte 107
- Kurzzeit 107

Sturm 16

Suszeptibilität 111

T

Temperatur 41, 64

- globale 9
- Mortalität 41
- Physiologie 42

Temperaturoxtrem 42, 106

Thermoregulation 42, 94, 111

Transformation, Große 207

Treibhauseffekt 42

Treibhausgas 9

U

Übergewicht 95

Übersterblichkeit 46

Umweltbewusstsein 185

Umweltgerechtigkeit 211

Umweltverhalten 185

Urbanisierung 47

Urbanität 74

UV-Exposition 119, 126

- Reduzierung 127

UV-Schutzverhalten 127, 167

UV-Strahlung 119, 165

- Hauterkrankung 122
- Therapeutikum 123

V

vektorübertragene Erkrankung 26, 145, 149, 152
Vorerkrankung, Risikofaktor 68
Vulnerabilität 27, 64, 68, 70, 80

W

Waldbrand 17
Wärmeinsel 46
Warnsystem 172

Wasserhaushalt, Mensch 192

Wetterextrem 24, 90

Wetterveränderung 109

Wettervorhersage 172

WHO 30, 207

Wirtschaft, Folgen von Hitze 96, 97

Z

Zecken 146, 147