



Journal of Health Monitoring · 2023 8(S3)

DOI 10.25646/11394

Robert Koch-Institut, Berlin

Susann Dupke<sup>1</sup>, Udo Buchholz<sup>2</sup>,  
Jutta Fastner<sup>3</sup>, Christina Förster<sup>4</sup>,  
Christina Frank<sup>2</sup>, Astrid Lewin<sup>5</sup>,  
Volker Rickerts<sup>5</sup>, Hans-Christoph Selinka<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Robert Koch-Institut, Berlin  
Zentrum für Biologische Gefahren und  
Spezielle Pathogene

<sup>2</sup> Robert Koch-Institut, Berlin  
Abteilung für Infektionsepidemiologie

<sup>3</sup> Umweltbundesamt, Berlin  
Abteilung Trinkwasser- und  
Badebeckenwasserhygiene

<sup>4</sup> Umweltbundesamt, Bad Elster  
Abteilung Trinkwasser- und  
Badebeckenwasserhygiene

<sup>5</sup> Robert Koch-Institut, Berlin  
Abteilung für Infektionskrankheiten

<sup>6</sup> Umweltbundesamt, Berlin  
Abteilung Umwelthygiene

Eingereicht: 30.09.2022

Akzeptiert: 21.12.2022

Veröffentlicht: 01.06.2023

# Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen

## Abstract

Der fortschreitende Klimawandel birgt das Potenzial für eine zunehmende menschliche Gesundheitsgefährdung durch wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen, z. B. durch eine Erhöhung von Pathogenkonzentrationen in Gewässern, durch die Ansiedlung neuer Pathogene oder durch mögliche Veränderungen von Erregerereigenschaften. Dieser Beitrag stellt exemplarisch einige Beispiele für mögliche Auswirkungen des Klimawandels dar. Nicht-Cholera-Vibrionen kommen natürlicherweise im Meerwasser vor, können sich aber in flachem Wasser bei erhöhter Temperatur erheblich vermehren. Im Falle von Legionellen könnten die Klimaveränderungen durch das Zusammenwirken von warmem und feuchtem Wetter zu temporären oder längerfristig erhöhten Legionellose-Inzidenzen führen. Auch könnten durch wärmeres Kaltwasser oder Senkungen der Temperatur des Warmwassers Bedingungen entstehen, die höheren Legionellenkonzentrationen Vorschub leisten. In nährstoffreichen Gewässern kann es bei Temperatursteigerung zu erhöhten Konzentrationen an toxischen Cyanobakterien kommen. Durch Starkregenfälle nach Stürmen oder längeren Hitzeperioden mit Trockenheit können humanpathogene Viren vermehrt in Gewässer eingeschwemmt werden. Und auch bei Erregern von Mykosen und fakultativ pathogenen Mikroorganismen besteht bei steigenden Temperaturen eine mögliche Gefährdung für die menschliche Gesundheit. So wurden nach Extremwetterereignissen bereits erhöhte Infektionsraten mit nicht-tuberkulösen Mykobakterien oder Pilzen dokumentiert.

Dieser Artikel ist Teil der Beitragsreihe zum Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023.

◆ NICHT-CHOLERA-VIBRIONEN · LEGIONELLOSEN · CYANOBAKTERIEN · UMWELTMIKROBEN · VIRUSINFESTIONEN

## 1. Einleitung

Zahlreiche Krankheitserreger des Menschen können durch Kontakt mit Wasser übertragen werden. Orale Aufnahme, Inhalation oder Hautkontakt mit Erregern wie Legionellen, Vibrionen, Cyanobakterien oder nicht-tuberkulösen Mykobakterien führen zu Erkrankungen mit zum Teil hohem Ge-

fährdungspotenzial und fulminanten Verläufen. Auch stellen Erreger von Mykosen und andere fakultativ pathogene Mikroorganismen eine Gefährdung der Gesundheit dar.

Durch die Folgen der globalen Erwärmung und den daraus resultierenden Klimawandel sind auch Effekte auf wasserbürtige Infektionen für die Zukunft zu erwarten. Längere saisonale Wärmeperioden durch heiße Sommer oder

anhaltende warme Herbste können auch in unseren nördlichen Breitengraden zur Zunahme der Wassertemperaturen führen. Diese erhöhten Temperaturen können die Vermehrung von Krankheitserregern begünstigen. Ein solcher klimatischer Effekt konnte beispielsweise für die Ostsee mittels Satellitendaten seit 1990 gezeigt werden. Eine Auswertung ergab, dass sich die Oberfläche der gesamten Ostsee im Jahresmittelwert in den letzten 16 Jahren um rund 0,8°C erwärmt hat [1]. Auch Sturmfluten und Überschwemmungen können wasserbürtige Keime, insbesondere wasserbürtige Viren und fakultativ pathogene Umweltmikroben, verbreiten. Es ist anzunehmen, dass diese Wetterphänomene mit fortschreitendem Klimawandel vermehrt auftreten.

Ein Großteil wasserbürtiger Infektionen kann bei Freizeitaktivitäten erworben werden. Dies hat weitreichende Folgen für die menschliche Gesundheit, da sich im Rahmen steigender Außentemperaturen auch das Freizeitverhalten der Bevölkerung stärker an wasserassoziierten Aktivitäten orientieren kann. Nachfolgend soll das Risiko wasserbürtiger Infektionen und Intoxikationen beispielhaft an verschiedenen Mikroorganismen erörtert werden, deren Vorkommen durch den Klimawandel beeinflusst wird.

Von den Autorinnen und Autoren dieses Artikels wurden gemeinsam die gemäß ihrer Expertenmeinung darzustellenden Inhalte festgelegt. Entsprechende Verweise auf die aktuelle Literatur wurden hinzugefügt, ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht jedoch nicht.

## 2. Nicht-Cholera-Vibrionen

Vibrionen sind gramnegative, stäbchenförmige Bakterien, die mäßig bis ausgeprägt halophil (salzbedürftig) sind.

*Vibrio (V.) cholerae* O1/O139, die das Cholera-Toxin bilden können, sind die wohl bekanntesten Vertreter der Vibrionen. Sie lösen die epidemische Cholera aus. Cholera wird in Deutschland gelegentlich als im Ausland erworbene Infektion diagnostiziert, ist in Europa aber nicht endemisch.

So genannte Nicht-Cholera-Vibrionen (NCV) wie die ebenfalls humanpathogenen *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. cholerae* non-O1/non-O139, *V. fluvialis*, *V. furnissii*, *V. alginolyticus*, *V. mimicus* und *V. metschnikovii* kommen jedoch als Bestandteile der normalen Bakterienflora auch in der Nord- und Ostsee, und vereinzelt in leicht salzhaltigen Binnengewässern vor. Nord- und Ostsee enthalten leicht unterschiedliche Zusammensetzungen von NCV, vermutlich aufgrund unterschiedlicher Salinität des Wassers. Eine Studie mit Gewässer- und Sedimentuntersuchungen konnte zeigen, dass in der deutlich salzhaltigen Nordsee vermehrt *V. parahaemolyticus* zu finden ist, während in der Ostsee hauptsächlich *V. vulnificus* neben anderen NCV nachgewiesen wird. Auch *V. cholerae* non-O1/non-O139 ist hier häufig nachweisbar [2]. Besonders betroffen sind flache Gewässer, die sich bei Sonneneinstrahlung stark erhitzen können und zudem wenig durch Wind, Gezeiten oder andere Strömungen durchmischt werden. Bei Wassertemperaturen von über 20°C können sich NCV hier stark vermehren. An der Nordseeküste sind vor allem Strände an Flussmündungen aufgrund des dort reduzierten Salzgehaltes für das Auftreten von höheren NCV-Konzentrationen anfällig. An der Ostseeküste erfüllen z. B. Boddengewässer im Sommer und Frühherbst viele Bedingungen für das Wachstum von NCV. Prognosen für die NCV-Vermehrung sind einsehbar im „Vibrio map viewer“, einem Tool des Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle

---

## Menschen mit Vorerkrankungen haben ein erhöhtes Risiko von wasserbürtigen Infektionen, dies gilt auch für ältere und immungeschwächte Personen.

---

von Krankheiten (European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC), das unter Verwendung von Echtzeitdaten zu Wassertemperatur und Salzgehalt der Meeresoberfläche das Auftreten von Umweltbedingungen vorher sagt, die die Vermehrung von Vibrionen begünstigen. [3].

Menschen können sich auf verschiedene Weise mit NCV infizieren: Sie können die Erreger in roher oder unzureichend erhitzter Nahrung marinen Ursprungs aufnehmen, z. B. in Austern oder anderen Meeresfrüchten [4]. In einem anderen Artikel dieses Sachstandsberichts wird auf Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelassoziierte Infektionen und Intoxikationen näher eingegangen (Dietrich et al. [5]). Die Erreger können bei Kontakt von größeren Wunden, aber auch sehr kleinen Hautverletzungen mit Wasser in den Körper eindringen. Hierbei sind häufig Infektionen mit *V. vulnificus* beschrieben. Selten, aber ebenfalls möglich, sind Infektionen durch direkt im Wasser auftretende Hautverletzungen [6, 7] und solche beim Umgang mit Tieren, Muscheln und Steinen, denen Meerwasser anhaftet, beispielsweise bei der Verarbeitung von Fisch. Vor allem bei Kindern kommt es häufig zu Ohrinfektionen mit NCV, hauptsächlich mit *V. cholerae* non-O1/non-O139, z. B. durch Schwimmen oder Baden im Flachwasser.

Entsprechend den unterschiedlichen Infektionswegen und den verschiedenen Erregerspezies manifestieren sich unterschiedliche Krankheitsbilder in Form von Gastroenteritis, Wundinfektionen oder Ohrinfektionen; bei Aspiration von Meerwasser sind sogar Lungenentzündungen durch *V. vulnificus* beschrieben [8, 9]. Die Gastroenteritis entspricht dabei in der Regel nicht dem Krankheitsbild der Cholera mit extrem starken, reiswasserartigen Durchfällen mit großer Dehydratationsgefahr, da NCV das Cholera-

Toxin fehlt. Ausgehend von Wunden, bzw. Verletzungen der Hautbarriere, können sich durch die bakteriellen Toxine invasive, grenzüberschreitende, meist eitrige Infektionen entwickeln, die dringend chirurgisch versorgt werden müssen [10]. Sowohl bei Wundinfektionen als auch bei Gastroenteritis kann es zum Krankheitsbild der Sepsis kommen, welche mit einer signifikanten Letalität verbunden ist. Hier ist eine schnelle ärztliche Behandlung notwendig. Während die Infektionen mit NCV alle Altersgruppen betreffen können, sind gerade bei schwer verlaufenden Wund- und Weichteilinfektionen und Sepsis klare Risikogruppen benennbar: Hierzu zählen ältere sowie immungeschwächte Personen. Auch Menschen mit Vorerkrankungen wie Diabetes mellitus, Lebererkrankungen (z. B. Leberzirrhose, chronische Hepatitis), Krebserkrankungen (z. B. nach einer Chemotherapie) sowie schweren Herzerkrankungen haben ein erhöhtes Risiko für eine symptomatische Infektion und auch für einen schweren Krankheitsverlauf [11]. Dagegen sind unter den in Europa bekannten Fällen nur selten junge gesunde Erwachsene, die in der Regel auch nicht schwer erkranken. Bei einer schnellen, geeigneten und ausreichend dosierten antimikrobiellen Therapie mit Antibiotika sind Infektionen auch bei Risikopatientinnen und -patienten in den Griff zu bekommen. Unbehandelt oder zu spät behandelt kann – durch das schnelle Fortschreiten der Infektion – zusätzlich eine chirurgische Behandlung (bis hin zur Amputation betroffener Gliedmaßen) erforderlich sein. Bei Verletzungen oder bereits sichtbaren Infektionen von Haut und Weichgewebe mit Salzwasser-Exposition empfiehlt daher die aktuelle Leitlinie „Haut- und Weichgewebeanfektionen“ die Anwendung einer sofortigen Antibiotika-Kombinationstherapie [12]. Diese sollte bei Risikopatientinnen und

-patienten im Zweifel bereits begonnen werden, wenn die mikrobiologische Bestätigung von NCV noch aussteht [9]. Auch Patientinnen und Patienten mit einer Gastroenteritis durch NCV, bei denen durch Vorerkrankungen wie Diabetes oder eine Leberanschädigung ein erhöhtes Sepsis-Risiko besteht, sollten frühzeitig antibiotisch behandelt werden.

In den Jahren vor der Einführung der expliziten Meldepflicht wurden dem Robert Koch-Institut (RKI) jährlich bis zu 20 Fälle von NCV-Infektionen mit Infektionsorten in Deutschland bekannt. Die Fälle traten vermehrt in den wärmeren Sommern 2003, 2006, 2010, 2018 und 2019 auf.

Eine große Studie über 63 deutsche Fälle in den Jahren mit sehr heißen Sommern 2018 und 2019 beschrieb Patientinnen und Patienten mit eindeutiger Alters- und Geschlechtsverteilung (mehrheitlich über 60 Jahre alt und

überwiegend männlich) sowie Saisonalität der Infektionen. Die Patientinnen und Patienten hatten sich deutlich öfter an bzw. in der Ostsee als an der Nordsee mit NCV infiziert. Wundinfektionen waren die häufigste Krankheitsform, wobei sich mehrheitlich (84%) vorbestehende Wunden durch Meerwasserkontakt entzündeten. Häufige Vorerkrankungen der zumeist älteren Personen waren Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes mellitus oder Immunschwäche. 51% der Patientinnen und Patienten mussten auf einer Intensivstation behandelt werden, insgesamt acht Menschen verstarben im Zusammenhang mit der Infektion [9].

Seit dem 01.03.2020 besteht neben der Meldepflicht für Cholera in Deutschland auch eine Meldepflicht für Infektionen mit anderen humanpathogenen Vibrionen gemäß Infektionsschutzgesetz (IfSG). Ein Auszug der seit 2020 übermittelten NCV-Infektionen wird in [Tabelle 1](#) beschrieben.

	2020 (ab März)	2021
Nicht explizit auslandreiseassoziierte Fälle	13 (von insgesamt 13 gemeldeten NCV-Infektionen)	25 (von insgesamt 29 gemeldeten NCV-Infektionen)
Umfeld der Infektionen (soweit bekannt)	9 x Ostsee 1 x Nordsee	14 x Ostsee 2 x Binnengewässer
Geschlecht männlich	9 (69%)	16 (64%)
Altersspanne (in Jahren)	22–87, Median: 60	8–89, Median: 68
Erkrankungsbeginn von Juli–September	9 (100% derer mit Angabe)	16 (80% derer mit Angabe)
Erreger	8 x <i>V. vulnificus</i> 4 x <i>V. cholerae</i> non-O1/non-O139 1 x <i>V. parahaemolyticus</i>	14 x <i>V. vulnificus</i> 4 x <i>V. cholerae</i> non-O1/non-O139 3 x <i>V. alginolyticus</i> 2 x <i>V. parahaemolyticus</i> 1 x andere Spezies 1 x Ko-Infektion mit 2 Spezies
Krankheitsformen (soweit bekannt)	5 x Wundinfektion/Sepsis 2 x Ohrinfektion	18 x Wundinfektion/Sepsis 3 x Gastroenteritis 1 x Ohrinfektion

NCV = Nicht-Cholera-Vibrionen, V. = Vibrio

Tabelle 1

Auszug der seit Einführung der Meldepflicht für NCV an das Robert Koch-Institut übermittelten, mutmaßlich nicht reiseassoziierten NCV-Infektionen

Quelle: SurvNet, Datenbank der in Deutschland meldepflichtigen Infektionskrankheiten

## Eine Zunahme von Infektionen durch Nicht-Cholera-Vibrionen vor allem in den Küstengewässern der Ostsee ist mit fortschreitendem Klimawandel zu erwarten.

Hier wird eine klare Saisonalität der Erkrankungsbeginne in den Sommermonaten der vor allem älteren betroffenen Patientinnen und Patienten deutlich. Ebenso ist erkennbar, dass der Großteil der Infektionen mit NCV mit Gewässerkontakt (v. a. der Ostsee) assoziiert ist. Eine Zunahme dieser Infektionen vor allem in den Küstengewässern ist mit fortschreitendem Klimawandel in heißen, langen Sommern zu erwarten.

### 2.1 Einfluss des Klimawandels auf Infektionen mit Vibrionen

Der Klimawandel beeinflusst Infektionen mit Vibrionen mindestens auf zweierlei Weise:

Da sich Wassertemperaturen oberhalb von 12 °C im Allgemeinen begünstigend auf das Vorkommen von Vibrionen auswirken und sich NCV in warmem Wasser ab 20 °C besonders stark vermehren können, tragen häufigere längere Wärmeperioden zur Konzentration der Erreger im Wasser bei. Diese Konzentration kann zusätzlich erhöht werden, wenn die Gewässerumwälzung aufgrund geänderter Tidenhubs, geringerer Frequenz von Stürmen oder veränderter Einflüsse sonstiger Strömungen vermindert wird oder sogar ausbleibt. Eine klimabedingte Verlängerung des Jahreszeitraums, in dem mit hohen NCV-Konzentrationen gerechnet werden muss, verlängert auch die Phase, in der vor allem vulnerable Menschen mit den Erregern in Kontakt kommen können, z. B. durch die Verlängerung der Badesaison. Zusätzlich ist zu beachten, dass der demografische Wandel den Anteil vulnerabler Gruppen in der Bevölkerung, und vermutlich auch unter Urlauberinnen und Urlaubern an deutschen Küsten, generell ansteigen

lässt. Als Folge der globalen Erwärmung ist außerdem zu erwarten, dass die Oberflächentemperatur in der Ostsee in den nächsten Jahrzehnten um etwa 3–4 °C ansteigen wird [13], was generell zu einer Zunahme humanpathogener NCV in den Küstengewässern führen wird.

### 2.2 Handlungsoptionen zur Begrenzung der Exposition durch NCV

Die hier dargestellten Handlungsoptionen konzentrieren sich aufgrund der Breite des Themas auf Wundinfektionen und Sepsis, vor allem durch *V. vulnificus*, da es sich dabei um die schwerwiegendsten NCV-Infektionen in Deutschland handelt. Untersuchungen bezüglich *V. vulnificus* als menschlichem Pathogen wurden bereits ausführlich beschrieben, und zeigen eine deutlich erhöhte Gefährdung bestimmter Personengruppen, sich mit diesem Erreger zu infizieren und schwer zu erkranken [14].

(1) Infektionen mit NCV lassen sich reduzieren, wenn potenziell infektiöser Wasserkontakt vermieden wird, insbesondere sollten Wunden nicht gegenüber Meerwasser exponiert werden. Theoretisch hilfreich ist, auf Wasserkontakte mit geringeren Infektionswahrscheinlichkeiten auszuweichen wie z. B. das Waten oder Schwimmen eher an zum Meer offenen und von Gezeiten beeinflussten Strandabschnitten statt an besonders schlecht durchmischten und brackigen Küstenabschnitten wie Boddengewässern. Von dieser Vermeidung würden Menschen, die bei einer Infektion mit NCV das höchste Risiko eines schweren Krankheitsverlaufs tragen, am meisten profitieren: vor allem Seniorinnen und Senioren, insbesondere solche mit den beschriebenen Vorerkrankungen, z. B. schlecht heilenden

Wunden an den Beinen. Schwerwiegende Krankheitsverläufe können durch schnelle und angemessene Behandlung verhindert oder abgemildert werden.

(2) Dass Meerwasser Wunden desinfiziert, ist eine leider weit verbreitete Fehlinformation. Patientinnen und Patienten mit Risikofaktoren für schwere Erkrankungsverläufe sollten z. B. durch ihre Hausärztinnen und -ärzte über das grundsätzliche Infektionsrisiko informiert sein, wenn Wunden mit natürlichen Gewässern in Kontakt kommen. Küstennahe Reha-Kliniken und ähnliche Einrichtungen sollten Bewohnerinnen und Bewohner saisonal aktiv über die Risiken von Infektionen mit NCV informieren und Hinweise zur Infektionsvermeidung geben. Auch touristische Einrichtungen sollten zielgruppengerecht die entsprechenden Risiken thematisieren. Ärztinnen und Ärzte, vor allem – aber nicht nur – in Küstennähe, sollten besonders bei umgehend behandlungsbedürftigen Wundinfektionen und Sepsis nach Aufenthalt an den Küsten differenzialdiagnostisch auch eine Infektion mit NCV in Betracht ziehen und schnellstmöglich eine Therapie mit geeigneten Antibiotika einleiten.

### 3. Legionellen

Die Legionärskrankheit (LK) ist eine durch Legionellen, zum größten Teil der Spezies *Legionella (L.) pneumophila*, verursachte Form der Lungenentzündung. Typischerweise wird das Bakterium in Wassersystemen oder Biofilmen gefunden, aber es muss vernebelt und dann eingeatmet werden, um Krankheiten zu verursachen [15]. Epidemiologisch werden drei Kategorien unterschieden: reiseassoziierte, krankenhaussassoziierte und ambulant – d. h. im privaten

oder beruflichen Umfeld – erworbene Fälle von LK. Eine Übertragung von Legionellen ist prinzipiell durch eine Vielzahl von Quellen möglich, z. B. durch Aerosole von Verdunstungskühlsystemen [16, 17] oder Whirlpools [18], die epidemiologisch wichtigste Infektionsquelle stellt nach gegenwärtigem Kenntnisstand jedoch das häusliche Trinkwasser dar [19]. Allerdings verbleibt in Studien zur Infektionsquellensuche bei LK mindestens die Hälfte der sporadischen (d. h. nicht im Rahmen eines Ausbruchs auftretenden) Erkrankungen ohne gesicherte Infektionsquelle [19, 20]. Ein Teil davon könnte – auch über alternative Übertragungswege – im Kontext bestimmter Wetterbedingungen (z. B. erhöhte Niederschlagsmengen) auftreten [21]. Größere Ausbrüche von LK sind relativ selten und wurden in der Vergangenheit häufig durch Verdunstungskühlanlagen verursacht, z. B. 2009/2010 in Ulm [22] oder 2013 in Warstein [23]. Die LK ist eine saisonal auftretende Erkrankung, wobei die meisten Fälle in den Sommer- und Herbstmonaten zu verzeichnen sind. Von den drei epidemiologischen Gruppen ist die Saisonalität bei den reiseassoziierten Fällen am deutlichsten ausgeprägt, gefolgt von ambulant erworbenen Fällen. Krankenhausassoziierte Fälle weisen dagegen kaum eine Saisonalität auf.

In Deutschland ist die LK nach IfSG meldepflichtig. Die jährliche Inzidenz beträgt etwa 1,9:100.000 Einwohner, entsprechend etwa 1.500 übermittelten Fällen pro Jahr. Allerdings wird von einer Dunkelziffer von 15.000–30.000 Erkrankungen ausgegangen [24]. Ambulant erworbene Fälle von LK sind mit einem Anteil von etwa 70 % am häufigsten, gefolgt von reiseassoziierten Fällen (ca. 20 %) und mit einem Aufenthalt in einem Krankenhaus oder Altenpflegeheim assoziierten Fällen (ca. 10 %). Als Risikogruppen

## Der Klimawandel könnte zu Erhöhungen der Inzidenz von Legionellosen führen.

gelten ältere Menschen, insbesondere männlichen Geschlechts, sowie Menschen mit Vorerkrankungen des Herzens, der Lunge oder an anderen Organen. Rauchen stellt einen starken Risikofaktor dar [25].

### 3.1 Einfluss des Klimawandels auf Legionellosen

Der Klimawandel könnte auf zweierlei Art und Weise die Häufigkeit des Auftretens der LK beeinflussen:

(1) Durch Umweltfaktoren, mitunter ausbruchsmitierend: Eine erhöhte Inzidenz von LK war in Studien mit verschiedenen Wetterbedingungen assoziiert. Dazu gehörten erhöhte Luftfeuchtigkeit [26–29], erhöhte Niederschlagsmengen [26–31], erhöhte Lufttemperatur [26, 29, 31], niedriger Luftdruck [30] oder Kombinationen aus diesen Faktoren. In den Niederlanden wurden ausbruchsartige Inzidenzerhöhungen mit warmen, feuchten Wetterbedingungen in Zusammenhang gebracht [26]. Auch in Deutschland gab es im Sommer 2018 in Bayern und Baden-Württemberg unerwartete Erhöhungen von Fallzahlen, die vermutlich mit einem derartigen Effekt assoziiert waren. Der Mechanismus der Umweltfaktoren-assoziierten Inzidenzerhöhung ist nicht bekannt. Es wird diskutiert, ob Regenwasser auf Straßen durch Befahren mit Autos zur Aerosolisierung von mit Legionellen kontaminiertem Pfützenwasser führt [28, 32]. Dazu würde passen, dass in einer japanischen Studie in Luftproben in der Nähe von befahrenen Straßen Legionellen-DNA identifiziert wurde, mitunter sogar *L. pneumophila* [28]. Dabei korrelierte die Legionellen-DNA-Menge mit der monatlichen Niederschlagsmenge. An Orten, wo der Klimawandel zu einem häufigeren Zusammentreffen von warmem und feuchtem

Wetter führt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Inzidenz der LK ansteigt und es gelegentlich auch zu ausbruchsartigen Fallhäufungen kommen kann.

(2) Längerfristig, durch Haushaltstrinkwasser: Angesichts der ansteigenden durchschnittlichen Luft- und Bodentemperatur ist es möglich, dass sich die Basistemperatur von Kaltwasser erhöht. Ein solcher Effekt könnte zu einem vermehrten Legionellenwachstum in Kaltwasser führen, was wiederum zu einer erhöhten Legionellenkonzentration in Kalt- wie auch in Warmwasser führen könnte. Ein weiterer Faktor, der zu einem vermehrten Legionellenwachstum führen könnte, ist das zunehmende Bestreben vieler Haushalte, durch niedrigere Warmwassertemperaturen sowohl Energie zu sparen, um das Klima zu schützen, als auch Kosten zu sparen bei steigenden Energiepreisen. Dadurch könnte die zuführende Warmwassertemperatur in einen Bereich, z. B. unter 50°C, geraten, bei dem Legionellenwachstum nicht nur nicht unterdrückt, sondern unter Umständen sogar gefördert wird. Es ist im Rahmen des Klimawandels dann von einem erhöhten Risiko auszugehen, wenn man als Prämisse setzt, dass eine höhere Legionellenkonzentration im Trinkwasser mit einem erhöhten Risiko für LK einhergeht. Allerdings gibt es schon seit langer Zeit den Begriff des Dosis-Wirkungs-Paradoxons [33], d. h. es wurde beobachtet, dass eine höhere Legionellenkonzentration nicht notwendigerweise mit einem erhöhten Risiko für LK einhergeht. Auch in einer in Berlin durchgeführten Fall-Kontroll-Studie (der LeTriWa-Studie) wurde als stärkster Risikofaktor auf mikrobiologischer Ebene nicht die Legionellenkonzentration, sondern die Anwesenheit von Virulenz-assoziierten (so genannten MAb 3/1-positiven) Legionellen in häuslichem Trinkwasser identifiziert [19].

### 3.2 Handlungsoptionen zur Begrenzung der gesundheitlichen Auswirkungen durch Legionellen

Zur Prävention der LK gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaerwärmung ist es wichtig, Forschungsansätze zu entwickeln, mit denen die möglichen, oben genannten Mechanismen untersucht werden können, durch die der Klimawandel die Entwicklung der Inzidenz der LK beeinflusst.

(1) Auf technischer Seite ist noch erheblicher Forschungsbedarf vorhanden. Zum Beispiel hat sich gezeigt, dass auch in der Version der Trinkwasserverordnung von 2011 (TrinkwV) als nicht untersuchungspflichtig geltende Trinkwasserinstallationen (vor allem Wohnungen mit dezentraler Trinkwassererwärmung, z. B. Durchlauferhitzer) durchaus (auch hohe) Legionellenkonzentrationen beinhalten können [34]. Darüber hinaus wurde in der LeTriWa-Studie gefunden, dass Virulenz-assoziierte Legionellen nicht nur in untersuchungspflichtigen, sondern auch in nichtuntersuchungspflichtigen Trinkwasserinstallationen identifiziert wurden und mit dem Auftreten von LK in Zusammenhang gebracht werden konnten [19, 34–36]. Es ist zu untersuchen, welchen Einfluss die Wassertemperatur in Trinkwasserinstallationen, die Legionellenkonzentration und die Art des Stammes auf das Risiko von LK haben. Aus den Erkenntnissen könnten sich neue oder modifizierte Präventionsmöglichkeiten ergeben, deren Wirksamkeit geprüft werden sollte.

(2) Es ist auch wichtig herauszufinden, welche von Menschen beeinflussbaren präventiven Faktoren bzw. Verhaltensweisen evidenzbasiert die Übertragung von LK zu verhindern helfen. In der LeTriWa-Studie wurde herausgefunden,

dass die Kenntnis von Legionellen und ihren Eigenschaften bzw. individuelle, präventive Verhaltensweisen das Risiko zu senken vermögen (Buchholz et al.; Daten nicht veröffentlicht). Eine dabei als signifikant identifizierte Verhaltensweise war das Ablaufenlassen von Wasser vor Gebrauch.

(3) Da der negative und sehr starke Effekt von Rauchen als Risikofaktor für das Auftreten von LK gut belegt ist, könnten auch Kampagnen zur Reduktion des Rauchens vor diesem Hintergrund sehr effektiv sein. Durch weitere Forschung sollte untersucht werden, wie die Co-Benefits von reduziertem Tabakkonsum besser kommuniziert werden können.

### 4. Cyanobakterien

Cyanobakterien gehören zu den gramnegativen Bakterien, unterscheiden sich jedoch von anderen Bakterien durch ihre Fähigkeit zur Photosynthese unter Bildung von Sauerstoff. Wegen ihrer den Algen ähnlichen Lebensweise und dem Besitz von akzessorischen Pigmenten wie dem blauen Phycocyanin werden Cyanobakterien oft auch „Blualgen“ genannt. Sie besiedeln weltweit verschiedene Habitats und sind in Gewässern ein natürlicher Teil der Lebensgemeinschaft. In Gewässern mit hohen Nährstoffkonzentrationen (Phosphor, Stickstoff) können sich Cyanobakterien jedoch stark vermehren, mit negativen Effekten für das Ökosystem sowie für die Nutzung dieser Gewässer als Trinkwasser-Reserve oder als Badegewässer, v. a. wegen der Fähigkeit einiger Cyanobakterien potente Toxine zu produzieren [37]. Vor allem die im Süßwasser häufig vorkommenden Cyanobakterien wie *Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* und

*Dolichospermum* sind potenziell toxisch und bilden unter günstigen Bedingungen Massenentwicklungen, sogenannte Algenblüten. Nicht alle Genotypen von Cyanobakterien können Toxine produzieren und in der Regel bestehen Populationen aus einer Mischung von nicht-toxischen und toxischen Genotypen, letztere mit teils deutlichen Unterschieden im Toxingehalt. Die Toxinkonzentration in einem Gewässer hängt maßgeblich von der Biomasse an Cyanobakterien, aber auch von der Genotypenzusammensetzung ab. Umweltfaktoren beeinflussen sowohl das Vorkommen und Ausmaß der Cyanobakterien-Populationen als auch die Genotypenzusammensetzung und können sich somit im Saisonverlauf verändern.

Cyanobakterien können durch ihre Fähigkeit zur Toxinbildung gesundheitsschädlich sein, vermehren sich aber nicht im menschlichen Körper. Die wichtigsten Toxingruppen der Cyanobakterien umfassen Hepatotoxine (Microcystine, Nodularine, Cylindrospermopsine) sowie Neurotoxine (Anatoxine, Saxitoxine) [37]. Die systemische Wirkung der Toxine erfolgt ausschließlich bei oraler Aufnahme, eine Aufnahme über die Haut ist Untersuchungen zufolge nicht wahrscheinlich. Für die Hepatotoxine ist vor allem die chronische Toxizität von Bedeutung, für Neurotoxine besteht das gesundheitliche Risiko vorwiegend in ihrer z. T. ausgeprägten akuten oralen Toxizität.

Allergische Wirkungen der Cyanotoxine sind bislang nicht nachgewiesen worden, allerdings wurden irritierende und sensibilisierende Eigenschaften bei Hautkontakt mit unnatürlich hohen Konzentrationen an Cylindrospermopsin beobachtet. Die oft in Zusammenhang mit Cyanobakterien-Kontakt berichteten Symptome wie Schleimhautreizungen, Übelkeit und Atemwegserkrankungen werden sehr wahr-

scheinlich nicht durch Cyanotoxine hervorgerufen, sondern sind auf andere Zellbestandteile, Begleitbakterien der Cyanobakterien oder andere pathogene Organismen im Gewässer zurückzuführen [37]. Eine eindeutige Kausalität bei eher unspezifischen Symptomen ist aufgrund der Vielzahl möglicher Ursachen in der Regel nicht nachweisbar.

Menschen können Cyanobakterien und ihren Cyanotoxinen bei Freizeitaktivitäten in Gewässern mit Algenblüten ausgesetzt sein, aber auch durch Trinkwasser, wenn die Trinkwasseraufbereitung Cyanotoxine aus belasteten Gewässern nicht wirksam entfernt. Ferner können sie in Nahrungsmitteln enthalten sein (z. B. Fisch, Nahrungsergänzungsmittel aus Cyanobakterien). Eindeutig belegte schwere Erkrankungen oder gar Todesfälle beim Menschen durch Cyanotoxin-Aufnahme sind international nur in Einzelfällen, in Deutschland gar nicht bekannt.

#### 4.1 Einfluss des Klimawandels auf Cyanobakterien

Primäre Ursache für das massenhafte Vorkommen von Cyanobakterien sind erhöhte Nährstoffkonzentrationen (Phosphor, Stickstoff) im Gewässer. Die Effekte des Klimawandels können das Vorkommen von Cyanobakterien verstärken, aber auch abschwächen. Günstig auf das Wachstum wirken z. B. in nährstoffreichen Gewässern eine durch hohe Temperaturen bedingte stabile Schichtung des Gewässers. Dagegen können in nährstoffärmeren Gewässern sinkende Pegel durch geringe Niederschläge einerseits sowie Abschwemmung von Nährstoffen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen bei Starkregenereignissen andererseits zu einer Erhöhung der Nährstoffe und damit zu mehr Cyanobakterien führen [38, 39]. Ausgeprägte Schichtung

**Durch den Klimawandel wird es in manchen Gewässern zu einer Zunahme von (potenziell toxischen) Cyanobakterien kommen.**

eines Gewässers mit unvollständiger Durchmischung kann aber auch zu einem Rückgang von Nährstoffen und damit auch der Cyanobakterien führen, und auch Starkregen sowie Wind können ihre Vermehrung negativ beeinflussen [40]. Da die Daten zum Einfluss von Umweltfaktoren auf den Toxingehalt einer Population nicht eindeutig sind, ist hierzu noch keine Einschätzung zum Einfluss des Klimawandels möglich.

Zusammenfassend ist es sehr wahrscheinlich, dass es durch den Klimawandel zu einer signifikanten Änderung der ökologischen Prozesse in Gewässern kommen wird. Wie sich diese Änderungen auswirken, lässt sich für einzelne Gewässer zurzeit schwer abschätzen: In manchen Gewässern wird dies zu häufigeren und ausgeprägteren Cyanobakterien-Blüten führen, in anderen jedoch nicht. Da dies von der Trophie und Morphometrie eines Gewässers sowie regionalen Wetterphänomenen abhängt, kann kein allgemeingültiger Einfluss des Klimawandels auf Cyanobakterien-Blüten für alle Gewässer abgeleitet werden [39].

#### **4.2 Handlungsoptionen zur Vermeidung der gesundheitlichen Auswirkungen von Cyanobakterien**

Für die wichtigsten Toxine hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Leitwerte sowohl für Trinkwasser als auch für Badegewässer festgelegt [37]. Die im Jahr 2021 revidierte EU-Trinkwasserrichtlinie übernimmt den WHO-Leitwert von 1 µg/l für Microcystin-LR als Grenzwert; dies ist bis 2023 in nationales Recht zu überführen. Für Badegewässer regelt Artikel 8 „Gefährdung durch Cyanobakterien“ der EU-Badegewässerrichtlinie die Vorgehensweise, um eine

Exposition gegenüber Cyanobakterien und Cyanotoxinen zu minimieren.

Für Trinkwasser ist durch den geringen Anteil aufbereiteten Oberflächenwassers in Deutschland sowie wirksamer Verfahren der Trinkwasseraufbereitung gemäß den rechtlichen Vorgaben keine Gefahr durch Cyanotoxine zu erwarten. Hingegen kann das Baden in stark mit Cyanobakterien belasteten Gewässern ein Gesundheitsrisiko darstellen, da die meisten Cyanobakterien-Blüten in Deutschland Cyanotoxine enthalten. Vor allem die Aufnahme größerer Mengen belasteten Wassers gilt es zu vermeiden, weshalb im Spülsaum spielende Kinder durch ihren häufigen Hand-Mund-Kontakt, Kinder, die Schwimmen lernen, oder Aerosol-exponierte Wassersportlerinnen und -sportler (z. B. beim Wasserskifahren) zu den Risikogruppen gehören. Die größten Wassermengen werden jedoch vermutlich bei Badeunfällen (Beinahe-Ertrinken) aufgenommen.

Um Badende zu schützen werden der EU gemeldete Badegewässer auch auf das Vorkommen von Cyanobakterien untersucht und je nach Ausmaß der Belastung Warnhinweise oder gar ein Badeverbot ausgesprochen [41]. Daneben ist Aufklärung für eigenverantwortliches Handeln notwendig, da Gewässer nicht immer zeitnah untersucht werden können und ufernahe, dichte Algenblüten sporadisch auftreten können.

Schlussendlich ist der nachhaltigste Schutz vor Cyanobakterien, deren (massenhafte) Vermehrung im Gewässer zu verhindern. Dies ist nur durch Sicherstellen hinreichend geringer Konzentration von Nährstoffen zu erreichen und ist auch zur Beherrschung der Auswirkungen des Klimawandels zwingend notwendig [42].

**Extremwetterereignisse können zu verstärkter Exposition gegenüber wasser- und erdbewohnenden Pathogenen führen.**

## 5. Wasserbedingte Virusinfektionen

Im Gegensatz zur eindeutig nachvollziehbaren Wirkung des Klimawandels auf die Vermehrung vektorübertragener Viren (siehe hierzu den Artikel dieses Sachstandsberichts zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor-assoziierte Infektionskrankheiten, [Beermann et al. \[43\]](#)) sind die Auswirkungen des Klimawandels auf humanpathogene enterale Viren nicht sofort erkennbar. Gastrointestinale Infektionen durch humanpathogene enterale Viren, wie Noroviren, Rotaviren, Enteroviren sowie Hepatitis-A- und Hepatitis-E-Viren, die durch Kontamination der Gewässer auch wasserbürtige Infektionen verursachen können, sind in Europa durch hygienische Maßnahmen in den vergangenen Jahrzehnten eher rückläufig. Aufgrund der seit 2019 herrschenden COVID-19-Pandemie und der dadurch erfolgten Hygienemaßnahmen (reduzierte Kontakte, Lockdowns und das Tragen von Gesichtsmasken), die zu einer allgemeinen Reduzierung der Zirkulation humanpathogener Viren führten, blieben auch die teilweise deutlichen Änderungen des saisonalen Auftretens und der Biodiversität enteraler Viren in Gewässern weitestgehend unbeachtet.

### 5.1 Einfluss des Klimawandels auf wasserbürtige Virusinfektionen

Wasserbürtige Infektionen durch enterale Viren sind jedoch stark von den sekundären Effekten des Klimawandels betroffen [44]. Humanpathogene Viren, die in die Gewässer gelangen, können ihre Infektiosität, abhängig von der Stabilität ihres Virus-Kapsids, oft über lange Zeiträume aufrechterhalten. Die Viren können sich jedoch im Wasser nicht

mehr vermehren. Daher spielt eine Erhöhung der Wassertemperatur für enterale Viren meist keine zentrale Rolle. Erhöhte Konzentrationen der Erreger im Wasser werden jedoch vor allem durch die vom Klimawandel verursachten Stürme, längeren Hitzeperioden mit Trockenheit, sowie Starkregenfälle verursacht. Solche Extremwetterereignisse führen häufig zu einer erhöhten Einschwemmung pathogener Viren in die Gewässer und damit zu einer Verschlechterung der hygienischen Qualität der Gewässer [45]. Auch in Trockenperioden kann das Infektionsrisiko durch ein verringertes Wasservolumen und geringere Fließraten in Flüssen erhöht sein. Diese zeitweise erhöhten Viruslasten führen zu erhöhten Risiken der Übertragung wasserbürtiger Infektionen und gastrointestinaler Erkrankungen. Auch in Deutschland treten Extremwetterereignisse mit Starkregenfällen und Überschwemmungen immer häufiger auf, wie die Flutkatastrophen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen im Juli 2021 zeigten, die durch eine Vermischung von Abwasser und Flutwasser zu einem erhöhten Risiko für Infektionen mit gastrointestinalen Krankheitserregern führten. Der Einfluss auf die Gesundheit von durch den Klimawandel verursachten Extremwetterereignissen wird in einem weiteren Artikel dieses Sachstandsbericht genauer betrachtet (Butsch et al. [46]).

### 5.2 Handlungsoptionen zur Begrenzung der gesundheitlichen Auswirkungen von wasserbedingten Virusinfektionen

(1) Die Mehrzahl neu entdeckter oder wiederkehrender Erreger sind Viren [47]. Bedingt durch die Veränderungen der klimatischen Bedingungen ist auch im Wasser mit dem

Auftreten neuer zoonotischer Erreger und einem Anstieg neuer wasserbürtiger Virusinfektionen zu rechnen. Dafür müssen effiziente Methoden zum Nachweis der Erreger und ihrer Elimination entwickelt werden.

(2) Des Weiteren muss genauer untersucht werden, welchen Einfluss der Klimawandel auf beobachtete Veränderungen des saisonalen Auftretens potenziell pathogener Viren in Gewässern hat. Die wasserbasierte Epidemiologie sowie die One-Health- und Planetary-Health-Konzepte, die eine Betrachtung der Umweltbedingungen auf das Infektionsgeschehen mit einbeziehen, bieten dazu gute Gelegenheiten. Vor allem nach Extremwetterlagen können durch verstärkte Monitoringprogramme zum Vorkommen pathogener Viren in Gewässern klimabedingte Anstiege wasserbürtiger Virusinfektionen frühzeitig erkannt und durch die Aufdeckung möglicher Infektionsketten reduziert oder verhindert werden.

## 6. Fakultativ pathogene Umweltmikroben

Zahlreiche fakultativ pathogene Mikroorganismen (z. B. Pilze, Amöben, Bakterien, Mykobakterien) sind Teil polymikrobieller Gemeinschaften in verschiedenen Umwelthabitaten (z. B. in Erde und Wasser). Gegenüber nicht-pathogenen Mikroben sind diese durch Thermotoleranz, d. h. Wachstumsfähigkeit bei humaner Körpertemperatur, gekennzeichnet. Im Gegensatz zu Infektionen durch klassische bakterielle Pathogene bereitet die Diagnose, Therapie und Kontrolle von Infektionsausbrüchen durch solche Umweltmikroben besondere Schwierigkeiten. Die mikrobiologische Diagnostik ist aufgrund oft langsamen Wachstums und ubiquitären Vorkommens eingeschränkt. Viele dieser

Erreger sind wegen Antiinfektivaresistenzen schwer therapierbar. Aufgrund längerer Inkubationszeiten werden Ausbrüche ggf. erst spät bzw. ohne molekulare Typisierung nicht als Ausbrüche erkannt.

### 6.1 Einfluss des Klimawandels auf fakultativ pathogene Umweltmikroben

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Erhöhung der Umwelttemperaturen einen Selektionsvorteil für bestimmte fakultativ pathogene Umweltmikroben darstellt. Daneben wurde auch eine Adaptation bislang apathogener Pilze an höhere Temperaturen berichtet, die infolge dessen als Infektionserreger in Frage kommen [48]. Die anhand eines Ausbruchs des tropischen Mykoseerregers *Cryptococcus gattii* beobachtete Ansiedlung von Mikroorganismen aus warmen tropischen Regionen in den gemäßigten Klimazonen der nordamerikanischen Westküste belegt die Änderungsdynamik der Habitate [49].

Insbesondere nach Extremwetterereignissen könnten Menschen durch solche Änderungen der Erregereigenschaften und Verbreitung vermehrt gegenüber diesen Mikroorganismen exponiert sein. Nach Flutkatastrophen beispielsweise werden zunehmend Ereignisse wie erhöhte Raten an Infektionen mit nicht-tuberkulösen Mykobakterien oder Pilzen dokumentiert, die im Sinne dieser Hypothese ausgelegt werden können (z. B. [49–51]).

**Änderungen klimatischer Faktoren können zu einem Selektionsvorteil thermotoleranter fakultativ pathogener Mikroben führen sowie zu einer Temperaturadaptation bislang apathogener Mikroorganismen.**

## 6.2 Handlungsoptionen zur Begrenzung der gesundheitlichen Auswirkungen von fakultativ pathogenen Umweltmikroben

(1) Zur Dokumentation von Änderungen mikrobieller Bestandteile von Umwelthabitaten und Risikobewertung ist ein umfassendes Monitoring der Mikroorganismen-Population notwendig, z. B. durch metagenomische Surveillance von Mikroorganismen in Umweltproben mit Methoden, die auch für diese Erregergruppen geeignet sind [52].

(2) Die Verbesserung diagnostischer Verfahren (z. B. Polymerase-Kettenreaktion (PCR), Sequenzierung) für diese Erreger und polymikrobielle Infektionen sind entscheidend für erfolgreiche Therapiestrategien.

(3) Die Entwicklung molekularer Typisierungsschemata ist notwendig zur Erkennung und Begrenzung von Ausbrüchen.

## 7. Fazit und Ausblick

Die globale Erwärmung und der damit verbundene fortschreitende Klimawandel haben weitreichende Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen stellen in diesem Zusammenhang eine erhöhte Gefahr dar. Krankheitserreger, die durch Kontakt mit Wasser zu Infektionen und Intoxikationen des Menschen führen können, können durch steigende Wassertemperaturen gehäuft auftreten. Auch Extremwetterereignisse können zu verstärkter Exposition gegenüber wasser- und erdbewohnenden Pathogenen führen. Bedingt durch die Veränderungen der klimatischen Bedingungen ist im Wasser auch mit dem Auftreten neuer zoonotischer Erreger

und einem vermehrten Anstieg neuer wasserbürtiger Virusinfektionen zu rechnen. Durch Klimaveränderungen können auch Selektionsvorteile für thermotolerante fakultativ pathogene Mikroben entstehen, und es kann zu Temperaturadaptation bislang apathogener Mikroorganismen kommen.

Handlungsempfehlungen für den besseren Schutz der menschlichen Gesundheit vor wasserbürtigen Infektionen und Intoxikationen sehen wir in drei großen Kategorien: Maßnahmen zur Reduktion der Expositionsgefahr, Aufklärung und Forschung.

Die Reduktion der Expositionsgefahr steht hierbei an erster Stelle, dies gilt vor allem für Infektionen mit NCV, aber auch für Cyanobakterien und Cyanotoxine. Der nachhaltigste Schutz vor Cyanobakterien ist es, deren (massenhafte) Vermehrung im Gewässer zu verhindern. Dies ist nur durch Sicherstellen hinreichend geringer Konzentration von Nährstoffen zu erreichen, um Badende zu schützen. Vor allem für Menschen in den Risikogruppen können die Vermeidung von potenziell infektiösem Wasserkontakt sowie eine schnellstmögliche Antibiotikatherapie im begründeten Verdachtsfall helfen, Infektionen mit NCV und vor allem schwere Krankheitsverläufe zu verhindern.

Da Menschen mit Vorerkrankungen, immungeschwächte und ältere Personen ein erhöhtes Risiko für wasserbürtige Infektionen haben, ist verbesserte Aufklärung über die entsprechenden Risiken von großer Bedeutung. Auch medizinische und touristische Einrichtungen an Nord- und Ostsee müssen über die steigenden Risiken insbesondere von NCV-Infektionen informiert sein.

Forschungsansätze zu Risikofaktoren und deren Eindämmung sollten ausgebaut werden, bei LK beispielsweise der Tabakkonsum. Effiziente Methoden zum Nachweis

unterschiedlicher, auch neuartiger Erreger und ihrer Elimination sollten entwickelt werden. Vor allem nach Extremwetterlagen können breitflächig angelegte Untersuchungen zum Vorkommen pathogener Viren und anderer Mikroben in Gewässern mögliche auftretende Gefahren dokumentieren, und somit klimabedingte Anstiege wasserbürtiger Infektionen frühzeitig erkannt werden.

Zur Reduktion der im Rahmen des Klimawandels zu erwartenden zunehmenden Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen sind deshalb gemeinsame Anstrengungen vieler Akteurinnen und Akteure erforderlich.

**Korrespondenzadresse**

Dr. Susann Dupke  
Robert Koch-Institut  
Zentrum für Biologische Gefahren und Spezielle Pathogene  
Seestr. 10  
13353 Berlin  
E-Mail: [DupkeS@rki.de](mailto:DupkeS@rki.de)

**Zitierweise**

Dupke S, Buchholz U, Fastner J, Förster C, Frank C et al. (2023)  
Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige  
Infektionen und Intoxikationen.  
J Health Monit 8(S3): 67–84.  
DOI 10.25646/11394

Die englische Version des Artikels ist verfügbar unter:  
[www.rki.de/jhealthmonit-en](http://www.rki.de/jhealthmonit-en)

**Förderungshinweis**

Die Koordination der Publikation erfolgte im Rahmen des Projekts KlimGesundAkt, das durch das Bundesministerium für Gesundheit gefördert wird (Kapitel 1504; Titel 54401 HJ2021; Laufzeit 07/2021–06/2024).

**Interessenkonflikt**

Die Autorinnen und Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

**Beiträge der Autorinnen und Autoren**

Von den Autorinnen und Autoren dieses Artikels wurden gemeinsam die gemäß ihrer Expertenmeinung darzustellenden Inhalte festgelegt. Einzelne Personen bereiteten Entwürfe für die verschiedenen Unterkapitel vor, die von allen Autorinnen und Autoren gemeinsam finalisiert wurden:

Nicht-Cholera-Vibrionen: Frank C, Dupke S

Legionellen: Buchholz U, Förster C

Cyanobakterien: Fastner J

Wasserbedingte Virusinfektionen: Selinka HC, Förster C

Fakultativ pathogene Umweltmikroben: Rickerts V,  
Lewin A

Nach der Erstautorin haben alle Autorinnen und Autoren vergleichbare Beiträge geleistet und sind nach alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

**Danksagung**

Das RKI-Koordinationsteam des Projekts KlimGesundAkt dankt Sophie Gepp, Elke Hertig, Claudia Hornberg, Tanja-Maria Kessel, Andreas Matzarakis, Odile Mekel, Susanne Moebus, Jonas Schmidt-Chanasit, Alexandra Schneider, Klaus Stark, Wolfgang Straff und Maike Voss für die beratende Tätigkeit in der projektbegleitenden Fachgruppe.

## Literatur

1. Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (2022) Faktenübersicht zum Klimawandel und seinen Folgen in der Ostsee-Region. <https://www.io-warnemuende.de/im-fokus-details/items/faktenuebersicht-zu-klimawandel-und-folgen-in-der-ostsee-region.html> (Stand: 21.12.2022)
2. Fleischmann S, Herrig I, Wesp J et al. (2022) Prevalence and distribution of potentially human pathogenic *Vibrio* spp. on German North and Baltic Sea Coasts. *Front Cell Infect Microbiol* 12:846819
3. ECDC (2022) ECDC Geoportal - Vibrio Map Viewer. <https://geoportal.ecdc.europa.eu/vibriomapviewer> (Stand: 21.12.2022)
4. Vu TTT, Alter T, Huehn S (2018) Prevalence of *Vibrio* spp. in retail seafood in Berlin, Germany. *J Food Prot* 81(4):593–597
5. Dietrich J, Hammerl JA, John A et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelassoziierte Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit* 8(S3):85–101. [www.rki.de/jhealthmonit](http://www.rki.de/jhealthmonit) (Stand: 01.06.2023)
6. Brehm TT, Berneking L, Rohde H et al. (2020) Wound infection with *Vibrio harveyi* following a traumatic leg amputation after a motorboat propeller injury in Mallorca, Spain: A case report and review of literature. *BMC Infect Dis* 20(1):104
7. Hecht J, Borowiak M, Fortmeier B et al. (2022) Case Report: *Vibrio fluvialis* isolated from a wound infection after a piercing trauma in the Baltic Sea. *Access Microbiol* 4(1):000312
8. Brehm TT, Berneking L, Sena Martins M et al. (2021) Heat-wave-associated *Vibrio* infections in Germany, 2018 and 2019. *Euro Surveill* 26(41):2002041
9. Brehm TT, Dupke S, Hauk G et al. (2021) Non-cholera *Vibrio* species - Currently still rare but growing danger of infection in the North Sea and the Baltic Sea. *Internist (Berl)* 62(8):876–886
10. Meyer HL, Polan C, Burggraf M et al. (2022) 'The Baltic Sea Germ': A case report of necrotizing fasciitis following *Vibrio vulnificus* infection. *Case Rep Orthop* 2022:5908666
11. Metelmann C, Metelmann B, Grundling M et al. (2020) *Vibrio vulnificus*, an increasing threat of sepsis in Germany? *Anaesthetist* 69(9):672–678
12. Sunderkötter C, Becker K, Eckmann C et al. (2019) Haut- und Weichgewebeeinfektionen. In: Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie e. V. (Hrsg) S2k Leitlinie: Kalkulierte parenterale Initialtherapie bakterieller Erkrankungen bei Erwachsenen – Update 2018, S. 173–227. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/o82-006> (Stand: 21.12.2022)
13. Meier HEM, Dieterich C, Gröger M (2021) Natural variability is a large source of uncertainty in future projections of hypoxia in the Baltic Sea. *Commun Earth Environ* 2(50):1–13
14. Baker-Austin C, Oliver JD (2018) *Vibrio vulnificus*: New insights into a deadly opportunistic pathogen. *Environ Microbiol* 20(2):423–430
15. Prussin AJ 2<sup>nd</sup>, Schwake DO, Marr LC (2017) Ten questions concerning the aerosolization and transmission of *Legionella* in the built environment. *Build Environ* 123:684–695
16. Walser SM, Gerstner DG, Brenner B et al. (2014) Assessing the environmental health relevance of cooling towers – A systematic review of legionellosis outbreaks. *Int J Hyg Environ Health* 217(2-3):145–154
17. Ricketts KD, Joseph CA, Lee JV et al. (2012) Wet cooling systems as a source of sporadic Legionnaires' disease: A geographical analysis of data for England and Wales, 1996–2006. *J Epidemiol Community Health* 66(7):618–623
18. Jernigan DB, Hofmann J, Cetron MS et al. (1996) Outbreak of Legionnaires' disease among cruise ship passengers exposed to a contaminated whirlpool spa. *Lancet* 347(9000):494–499
19. Buchholz U, Jahn HJ, Brodhun B et al. (2020) Source attribution of community-acquired cases of Legionnaires' disease-results from the German LeTriWa study; Berlin, 2016–2019. *PLoS One* 15(11):e0241724
20. Den Boer JW, Euser SM, Brandsema P et al. (2015) Results from the National Legionella Outbreak Detection Program, the Netherlands, 2002-2012. *Emerg Infect Dis* 21(7):1167–1173
21. Sakamoto R (2015) Legionnaire's disease, weather and climate. *Bull World Health Organ* 93(6):435–436
22. von Baum H, Harter G, Essig A et al. (2010) Preliminary report: Outbreak of Legionnaires disease in the cities of Ulm and Neu-Ulm in Germany, December 2009 – January 2010. *Euro Surveill* 15(4):19472

23. Maisa A, Brockmann A, Renken F et al. (2015) Epidemiological investigation and case-control study: A Legionnaires' disease outbreak associated with cooling towers in Warstein, Germany, August-September 2013. *Euro Surveill* 20(46):pii=30046
24. von Baum H, Ewig S, Marre R et al. (2008) Community-acquired *Legionella pneumoniae*: New insights from the German competence network for community acquired pneumonia. *Clin Infect Dis* 46(9):1356–1364
25. Phin N, Parry-Ford F, Harrison T et al. (2014) Epidemiology and clinical management of Legionnaires' disease. *Lancet Infect Dis* 14(10):1011–1021
26. Brandsema PS, Euser SM, Karagiannis I et al. (2014) Summer increase of Legionnaires' disease 2010 in the Netherlands associated with weather conditions and implications for source finding. *Epidemiol Infect* 142(11):2360–2371
27. Fisman DN, Lim S, Wellenius GA et al. (2005) It's not the heat, it's the humidity: Wet weather increases legionellosis risk in the greater Philadelphia metropolitan area. *J Infect Dis* 192(12):2066–2073
28. Kanatani JI, Watahiki M, Kimata K et al. (2021) Detection of *Legionella* species, the influence of precipitation on the amount of *Legionella* DNA, and bacterial microbiome in aerosols from outdoor sites near asphalt roads in Toyama Prefecture, Japan. *BMC Microbiol* 21(1):215
29. Karagiannis I, Brandsema P, van der Sande M (2009) Warm, wet weather associated with increased Legionnaires' disease incidence in The Netherlands. *Epidemiol Infect* 137(2):181–187
30. Beaute J, Sandin S, Uldum SA et al. (2016) Short-term effects of atmospheric pressure, temperature, and rainfall on notification rate of community-acquired Legionnaires' disease in four European countries. *Epidemiol Infect* 144(16):3483–3493
31. Han XY (2021) Effects of climate changes and road exposure on the rapidly rising legionellosis incidence rates in the United States. *PLoS One* 16(4):e0250364
32. van Heijnsbergen E, de Roda Husman AM, Lodder WJ et al. (2014) Viable *Legionella pneumophila* bacteria in natural soil and rainwater puddles. *J Appl Microbiol* 117(3):882–890
33. O'Brien SJ, Bhopal RS (1993) Legionnaires' disease: The infective dose paradox. *Lancet* 342(8862):5–6
34. Buchholz U, Lehfeld AS, Brodhun B et al. (2022) Einfluss der häuslichen Trinkwasser-Installation auf das Risiko, an Legionärskrankheit zu erkranken. *Epid Bull* (35):3–17
35. Lehfeld AS, Jahn HJ, Brodhun B et al. (2022) Infektionsquellen-suche bei ambulant erworbenen Fällen von Legionärskrankheit – Ergebnisse der LeTriWa-Studie; Berlin, 2016–2020 – Teil 2 (Ergebnisse und Diskussion). *Epid Bull* (28):3–16
36. Buchholz U, Lehfeld AS, Jahn HJ et al. (2022) Infektionsquellen-suche bei ambulant erworbenen Fällen von Legionärskrankheit – Ergebnisse der LeTriWa-Studie; Berlin, 2016–2020 – Teil 1 (Studienmethodik). *Epid Bull* (27):13–22
37. Chorus I, Welker M (Hrsg) (2021) Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. CRC Press, on behalf of the World Health Organization, Geneva, Boca Raton (FL)
38. Rigosi A, Carey CC, Ibelings BW et al. (2014) The interaction between climate warming and eutrophication to promote cyanobacteria is dependent on trophic state and varies among taxa. *Limnol Oceanogr* 59:99–114
39. Ibelings BW, Kurmayer R, Azevedo SMFO et al. (2021) Understanding the occurrence of cyanobacteria and cyanotoxins. In: Chorus I, Welker M (Hrsg) Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. CRC Press, on behalf of the World Health Organization, Geneva, Boca Raton (FL), S. 213–294
40. Salmaso N, Boscaini A, Capelli C et al. (2018) Ongoing ecological shifts in a large lake are driven by climate change and eutrophication: Evidences from a three-decade study in Lake Garda. *Hydrobiologia* 824:177–195
41. Umweltbundesamt (2015) Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. Bundesgesundheitsbl 58:908–920
42. Fastner J, Abella S, Litt A et al. (2016) Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load – Experiences from eight case studies. *Aquat Ecol* 50:367–383
43. Beermann S, Dobler G, Faber M et al. (2023) Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten. *J Health Monit* 8(S3):36–66. [www.rki.de/jhealthmonit](http://www.rki.de/jhealthmonit) (Stand: 01.06.2023)

44. Semenza JC, Rocklov J, Ebi KL (2022) Climate change and cascading risks from infectious disease. *Infect Dis Ther* 11(4):1371–1390

---

45. Karthe D (2015) Bedeutung hydrometeorologischer Extremereignisse im Kontext des Klimawandels für die Trinkwasserhygiene in Deutschland und Mitteleuropa. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59(5):264–270

---

46. Butsch C, Beckers LM, Nilson E et al. (demnächst) Gesundheitliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen – Risikokaskaden im anthropogenen Klimawandel. *J Health Monit* [www.rki.de/jhealthmonit](http://www.rki.de/jhealthmonit)

---

47. Nichol ST, Arikawa J, Kawaoka Y (2000) Emerging viral diseases. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97(23):12411–12412

---

48. Garcia-Solache MA, Casadevall A (2010) Global warming will bring new fungal diseases for mammals. *mBio* 1(1):e00061–10

---

49. Engelthaler DM, Casadevall A (2019) On the emergence of *Cryptococcus gattii* in the Pacific Northwest: Ballast tanks, tsunamis, and black swans. *mBio* 10(5):e02193–19

---

50. Benedict K, Park BJ (2014) Invasive fungal infections after natural disasters. *Emerg Infect Dis* 20(3):349–355

---

51. Honda JR, Bernhard JN, Chan ED (2015) Natural disasters and nontuberculous mycobacteria: A recipe for increased disease? *Chest* 147(2):304–308

---

52. Ko KKK, Chng KR, Nagarajan N (2022) Metagenomics-enabled microbial surveillance. *Nat Microbiol* 7(4):486–496

## Impressum

**Journal of Health Monitoring**

[www.rki.de/jhealthmonit](http://www.rki.de/jhealthmonit)

### Herausgeber

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin

### Redaktion

Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring  
Fachgebiet Gesundheitsberichterstattung  
General-Pape-Str. 62–66  
12101 Berlin  
Tel.: 030-18 754-3400  
E-Mail: [healthmonitoring@rki.de](mailto:healthmonitoring@rki.de)

### Verantwortlicher Redakteur

Dr. Thomas Ziese  
Stellvertretung: Dr. Anke-Christine Saß

### Redakteurinnen und Redakteure

Dr. Martina Groth, Johanna Gutsche, Dr. Birte Hintzpeter,  
Dr. Kirsten Kelleher, Dr. Franziska Prütz, Dr. Alexander Rommel,  
Dr. Livia Ryl, Dr. Anke-Christine Saß, Stefanie Seeling, Simone Stimm

### Satz

WEBERSUPIRAN.berlin

### Bildnachweis

Illustration auf Titel und Marginalspalte:  
© elenabsl – [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com)

ISSN 2511-2708

### Hinweis

Inhalte externer Beiträge spiegeln nicht notwendigerweise die  
Meinung des Robert Koch-Instituts wider.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer  
Creative Commons Namensnennung 4.0  
International Lizenz.



**Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im  
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit**