



Journal of Health Monitoring · 2023 8(S3)

DOI 10.25646/11393

Robert Koch-Institut, Berlin

Jessica Dietrich¹, Jens-Andre Hammerl²,
Annette Johne², Oliver Kappenstein¹,
Christopher Loeffler¹, Karsten Nöckler²,
Bettina Rosner³, Astrid Spielmeyer¹,
Istvan Szabo², Martin H. Richter²

¹ Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
Abteilung Sicherheit in der Nahrungskette

² Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
Abteilung Biologische Sicherheit

³ Robert Koch-Institut, Berlin
Abteilung für Infektionsepidemiologie

Eingereicht: 30.09.2022

Akzeptiert: 12.01.2023

Veröffentlicht: 01.06.2023

Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelassoziierte Infektionen und Intoxikationen

Abstract

Hintergrund: Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit sind wichtige Faktoren, welche die Verbreitung, die Vermehrung und das Überleben von Erregern beeinflussen können. Im Zuge des Klimawandels ändern sich diese Faktoren und es kommt zu erhöhten Luft- und Wassertemperaturen, zunehmenden Niederschlägen oder Wasserknappheit. Der Klimawandel kann so einen steigenden Einfluss auf viele Infektionserkrankungen ausüben.

Methode: Vor diesem Hintergrund betrachtet die vorliegende Übersichtsarbeit auf der Basis einer selektiven Literaturauswahl die für Deutschland bedeutendsten lebensmittelassoziierten Erregern und Toxine in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln: die bakteriellen Erreger der Gattungen *Salmonella*, *Campylobacter* und *Vibrio*, Parasiten der Gattungen *Cryptosporidium* und *Giardia*, sowie marine Biotoxine.

Ergebnisse: Mit weiter fortschreitendem Klimawandel ist damit zu rechnen, dass alle hier diskutierten Infektionen und Intoxikationen auch in Deutschland vermehrt auftreten werden.

Schlussfolgerungen: Die zu erwartende Zunahme lebensmittelassoziiierter Infektionen und Intoxikationen stellt ein wachsendes Public-Health-Risiko in Deutschland dar.

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

🔍 [CAMPYLOBACTER](#) · [SALMONELLA](#) · [VIBRIO](#) · [CRYPTOSPORIDIUM](#) · [GIARDIA](#) · [MARINE BIOTOXINE](#) · [ONE HEALTH](#)

1. Einleitung

Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und Bodenbeschaffenheit sind wichtige Umweltfaktoren, die die Verbreitung und das Überleben von Zoonoserregern beeinflussen. Änderungen dieser Umweltfaktoren im Zuge des Klimawandels, wie dauerhaft erhöhte Umgebungstemperaturen, zunehmende Niederschläge, aber auch Wasserknappheit können dazu beitragen, die Verbreitung und das Überleben

von Pathogenen zu begünstigen. Der Klimawandel kann so einen steigenden Einfluss auf über die Hälfte aller Infektionserkrankungen ausüben [1]. Dies gilt nicht nur für bereits vorhandene, also endemische, Infektionserreger, sondern die klimatischen Veränderungen begünstigen auch das Ansiedeln neuartiger Infektionserreger (Emergence) sowie die Rückkehr in der Vergangenheit bereits verdrängter Erreger (Re-emergence). So wird zum Beispiel die Landwirtschaft zukünftig wegen Wasserknappheit, die durch

den Klimawandel verstärkt wird, möglicherweise häufiger auf behandeltes Abwasser zurückgreifen müssen. Dies birgt eine Reihe von Risiken für die Lebensmittelsicherheit, darunter die Kontamination von bewässerten Erzeugnissen durch verschiedene Arten von Krankheitserregern [2].

Diese Übersichtsarbeit geht auf Gefahren für die menschliche Gesundheit durch die in Deutschland wichtigsten lebensmittelassoziierten Bakterien, Parasiten und marinen Biotoxine ein und spricht Handlungsempfehlungen aus, wie die Risiken reduziert werden können. So kann beispielsweise das Risiko aller hier behandelten Infektionen durch gute Hygiene bei der Zubereitung von Speisen (Küchenhygiene) und die Einhaltung von Kühlketten reduziert werden.

Da Viren im Zusammenhang mit dem Einfluss klimatischer Veränderungen auf Lebensmittel eine noch untergeordnete Rolle spielen, werden sie in diesem Artikel nicht näher beleuchtet. Ihre Bedeutung im Rahmen des Klimawandels wird in weiteren Artikeln dieses Sachstandsberichts intensiv behandelt, z. B. im Zusammenhang mit Vektor-assoziierten Infektionskrankheiten (Beermann et al. [3]).

2. Bakterien

2.1 *Campylobacter*

Bakterien der Gattung *Campylobacter* (C.) verursachen eine Darminfektion, die typischerweise mit Bauchschmerzen und wässrigem, gelegentlich blutigem Durchfall einhergeht. Als seltene Komplikationen können Gelenkentzündungen sowie das Guillain-Barré-Syndrom, eine mit Lähmungserscheinungen einhergehende Nervenerkrankung, auftreten. Bereits eine niedrige Infektionsdosis von ≥ 500 Keimen

kann eine *Campylobacter*-Infektion auslösen. Jährlich werden etwa 50.000–70.000 Fälle an das Robert Koch-Institut (RKI) übermittelt. Die *Campylobacter*-Enteritis ist seit Jahren die häufigste bakterielle, nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG) meldepflichtige Durchfallerkrankung in Deutschland. Die wichtigsten humanpathogenen *Campylobacter*-Spezies sind *C. jejuni* und *C. coli*. Die Übertragung auf den Menschen erfolgt vor allem über kontaminierte Lebensmittel tierischen Ursprungs. Insbesondere der Verzehr von kontaminiertem Hühnerfleisch stellt einen bedeutenden Risikofaktor für *Campylobacter*-Infektionen dar [4–6]. Auch über andere Lebensmittel, z. B. nicht-pasteurisierte Milch, sind Übertragungen auf den Menschen möglich. Anders als bei Salmonellen wird eine Vermehrung von *Campylobacter* in Lebensmitteln wegen ihrer mikrobiologischen Charakteristika (Wachstum unter mikroaeroben Bedingungen, d. h. bei verminderter Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre, und bei Temperaturen von 30–42 °C) als unwahrscheinlich angesehen [7]. *Campylobacter*-Infektionen über kontaminiertes Trinkwasser oder mit tierischen Fäkalien verunreinigte Badegewässer sind ebenfalls beschrieben worden [8, 9].

Einfluss des Klimas auf *Campylobacter*-Infektionen

Das Infektionsgeschehen der *Campylobacter*-Enteritis zeigt typischerweise einen saisonalen Verlauf mit den höchsten Fallzahlen in den Sommermonaten Juli bis September, auch bei nicht-reiseassoziierten Infektionen. Mit fortschreiten der Erwärmung in Folge des Klimawandels und damit einhergehenden verlängerten Wärmeperioden wird daher mit einer Zunahme von *Campylobacter*-Erkrankungsfällen beim Menschen gerechnet.

Die Zahl der Infektionen mit Keimen wie Salmonellen oder *Campylobacter* korreliert positiv mit Höchsttemperatur und Niederschlagsmengen.

In den Sommermonaten ist aufgrund der erhöhten Temperatur eine höhere *Campylobacter*-Prävalenz in Geflügelherden und somit eine höhere Exposition von Verbraucherinnen und Verbrauchern über den Verzehr von Geflügelfleisch denkbar, auch wenn die Datenlage dazu nicht einheitlich ist [10–14].

Ein wichtiger indirekter Effekt auf die Zunahme von Humaninfektionen ist ein verändertes Verzehr- und Freizeitverhalten in den Sommermonaten, das mit einer erhöhten Exposition einhergeht und dadurch Infektionen begünstigt, z. B. häufigeres Grillen von Geflügel- und anderem Fleisch oder Baden in Oberflächengewässern [14, 15].

Ein Zusammenhang von humanen *Campylobacter*-Infektionen wurde nicht nur mit der Temperatur [16, 17], sondern auch mit der Präzipitationsmenge in den Tagen vor dem Erkrankungsbeginn in Verbindung gebracht [18, 19]. Nach Starkregen und Überschwemmungen wurde eine Zunahme von *Campylobacter*-Infektionen und *Campylobacter*-Enteritis-Krankheitsausbrüchen beobachtet, wahrscheinlich aufgrund erhöhter Exposition über mit Fäkalien kontaminierte Oberflächengewässer oder kontaminiertes Trinkwasser [9, 20]. Dagegen wird nach Dürreperioden eher eine Abnahme von *Campylobacter*-Fällen erwartet [18, 19].

Mit zunehmender Wasserknappheit in Folge des Klimawandels ist denkbar, dass aufbereitetes Abwasser, welches mit Krankheitserregern aus tierischen oder menschlichen Fäkalien verunreinigt sein kann, häufiger für die Bewässerung von pflanzlichen Lebensmitteln verwendet wird [21]. Über diesen Weg wäre eine zunehmende Kontamination pflanzlicher Lebensmittel mit gastrointestinalen Krankheitserregern, inklusive *Campylobacter*, und damit eine Beeinträchtigung der Lebensmittelsicherheit zu erwarten [21]. Die

Verordnung der Europäischen Union (EU) 2020/741 soll dem entgegenwirken und regelt Mindeststandards für die Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung (Infobox).

In einer Modellrechnung wurde der Effekt von zunehmender Temperatur und Präzipitation auf die Anzahl von *Campylobacter*-Fällen in Skandinavien geschätzt. Für Dänemark, Finnland, Norwegen und Schweden wurde bis zum Jahr 2080 eine Verdoppelung von *Campylobacter*-Fällen vorhergesagt [19]. Weitere wissenschaftliche Studien sind notwendig, um die multifaktoriellen, direkten und indirekten Zusammenhänge zwischen klimatischen Veränderungen und *Campylobacter*-Erkrankungsfällen besser zu verstehen.

2.2 Salmonellen

Die Bakterien der Gattung *Salmonella* sind Zoonoseerreger, die direkt oder indirekt zwischen Menschen und Tieren übertragen werden können. Sie sind in der Natur weit verbreitet. Das Hauptreservoir für Salmonellen sind warmblütige Tiere, einschließlich Nutz- und Wildtiere. Salmonellen kommen auch bei kaltblütigen Tieren wie Reptilien oder Insekten vor, die als Vektoren fungieren und Salmonellen auf warmblütige Tiere bzw. Menschen übertragen können. Obwohl die meisten Salmonellen bei Tieren üblicherweise keine Symptome hervorrufen, können sie bei Menschen leichte bis schwere gesundheitliche Probleme verursachen. Die Salmonellose des Menschen geht oft mit Fieber, Übelkeit, Erbrechen, Bauch- und Kopfschmerzen einher, Krankheitszeichen können aber auch völlig fehlen.

In Deutschland ist die Salmonellose nach der *Campylobacteriose* die am zweithäufigsten gemeldete bakterielle

Infobox EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung

Klimatische Veränderungen erhöhen den Druck auf die Wasserressourcen in Deutschland und Europa. Um diesem Druck zu begegnen, wurden in der Verordnung (EU) 2020/741 Mindestanforderungen an die Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung festgelegt. Sie trat am 26. Juni 2020 in Kraft und gilt ab dem 26. Juni 2023 für alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union.

Die Verordnung soll die Wasserknappheit in der Europäischen Union in Folge des Klimawandels durch Wasserwiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung verringern und den Mitgliedstaaten die Umsetzung mit einheitlichen Vorgaben erleichtern. Ziel ist ein hohes Schutzniveau für die Umwelt und für die Gesundheit von Mensch und Tier sowie die Förderung der Kreislaufwirtschaft [22]. Die Verordnung über Mindestanfor-

derungen an die Wasserwiederverwendung ist auf die landwirtschaftliche Bewässerung beschränkt. Neben einheitlichen Mindestanforderungen an die Wasserqualität und die Überwachung sind ein Risikomanagement und Bestimmungen zur Datentransparenz die wesentlichen Elemente der Verordnung [22]. In diesem Zusammenhang wurden vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Stellungnahmen zu möglichen Risiken bei der Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser zur Bewässerung essbarer Pflanzen veröffentlicht [23–25]. Auch bereits behandelte Abwässer können noch Parasiten, Bakterien und Viren in krankmachenden Konzentrationen enthalten. Daher ist insbesondere darauf zu achten, dass Pflanzenteile, die üblicherweise roh verzehrt werden, nicht in direkten Kontakt mit dem Bewässerungswasser treten oder falls sich das nicht sicher vermeiden lässt, weiterhin mit Trinkwasser bewässert werden sollten. Personen, die Risikogruppen angehören, wird vom Rohverzehr abgeraten.

Lebensmittelinfektion beim Menschen; *Salmonella* (*S.*) *enterica* stellt eine wichtige Ursache für lebensmittelbedingte Ausbrüche dar. Darunter sind *S.* Enteritidis und *S.* Typhimurium die häufigsten Serovaren, die zusammen für etwa 75% aller gemeldeten Salmonellose-Fälle verantwortlich sind [26]. Geflügel ist die mutmaßlich wichtigste Quelle für *Salmonella*-Infektionen beim Menschen. Insbesondere Eier und Eiprodukte spielen hier eine übergeordnete Rolle. Eine weitere wichtige Quelle stellen Schweinefleisch und Schweinefleischerzeugnisse dar [27, 28]. Es wird zunehmend berichtet, dass *Salmonella*-Infektionen auch mit dem Verzehr von Lebensmitteln nicht tierischen Ursprungs in Zusammenhang stehen [27, 29]. Dabei waren rohes Blattgemüse, Zwiebel- und Stängelgemüse, Tomaten und Melonen die am häufigsten betroffenen Produkte. Die Kontamination dieser Produkte mit Salmonellen kann sowohl

vor der Ernte (Fäkalien, Bewässerungswasser, Staub, Insekten etc.) als auch nach der Ernte (Erntegeräte, Transportbehälter, Insekten, Staub, Spülwasser, Eis, Transportfahrzeuge, Verarbeitungsgeräte) stattfinden [30].

Einfluss des Klimas auf *Salmonella*-Infektionen

In Europa werden die meisten Salmonellose-Fälle in den Sommermonaten gemeldet [28]. Die Inzidenz von Salmonellen ist in nördlichen Ländern oft geringer als in Ländern, die in wärmeren Klimazonen liegen.

Die Umgebungstemperatur kann die Entwicklung von Salmonellen auf verschiedenen Stufen der Lebensmittelkette beeinflussen: z. B. durch bakterielle Belastung bei der Herstellung roher Lebensmittel, beim Transport und bei unsachgemäßer Lagerung [31]. Die optimale Temperatur für das Wachstum von Salmonellen liegt zwischen 35°C

und 37°C. Unter 15°C ist das Wachstum der Salmonellen stark reduziert. Demzufolge vermehren sich Salmonellen bei höheren Temperaturen schneller. Die signifikante Korrelation zwischen den Außentemperaturen und den von Salmonellen verursachten Ausbrüchen ist seit längerer Zeit bekannt. Studien berichten über die Zunahme von Salmonellen, aber auch anderen bakteriellen Darmerkrankungen bei steigenden Temperaturen [32]. Laut Zhang et al. [31] ist bei einem Anstieg der mittleren wöchentlichen Höchsttemperatur um 1°C mit einem Anstieg der wöchentlichen Fallzahlen um 8,8% zu rechnen. Bei einem Anstieg der mittleren wöchentlichen Mindesttemperatur um 1°C, ist mit einem Anstieg der wöchentlichen Zahl der Erkrankungen um 5,8% zu rechnen.

Die Temperatur kann die Übertragung von Salmonellen auf Menschen über mehrere Wege beeinflussen; durch die direkte Auswirkung auf die Vermehrung von Salmonellen und die indirekte Auswirkung auf die Essgewohnheiten während der heißen Tage. Das begünstigte Wachstum von Salmonellen bei höheren Temperaturen führt in den wärmeren Monaten zu einer höheren Konzentration von Salmonellen in kontaminierten Lebensmitteln. Dies hat u. a. mit der mangelhaften Zubereitung und Kühlung von Speisen beim Grillen oder Picknick zu tun, die in diesen Monaten ebenfalls häufiger ist. Erhöhte Umgebungstemperaturen erhöhen das Risiko einer Unterbrechung der Kühlketten, was erhebliche Auswirkungen auf den mikrobiologischen Status der Lebensmittel haben kann.

Zhang et al. [33] haben einen starken Zusammenhang zwischen Trinkwasserqualität, Niederschlag und Gastroenteritis festgestellt. Dabei korrelierten die Höchst- und Min-

destemperaturen, relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlag positiv mit der Zahl der Salmonellose-Fälle.

In Gebieten, in denen Niederschläge zunehmen, könnte sich die Wasserqualität verschlechtern. Starke Regenfälle können die Abflussmengen in den Flüssen und Seen erhöhen und Sedimente, Schadstoffe, Müll, tierische Abfälle und andere Materialien in die Wasserversorgung spülen. Schwere Überschwemmungen können Kläranlagen überfluten. Dies kann zu einer Verunreinigung der Umwelt von Menschen, Tieren und landwirtschaftlichen Betrieben durch Bakterien in menschlichen Abwässern führen, die nicht nur infektiös sind, sondern auch gegen antimikrobielle Mittel resistent sein können. In einem weiteren Artikel dieses Sachstandsberichts wird auf diese Problematik aus der Perspektive von gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels durch Extremwetterereignisse gesondert eingegangen (Butsch et al. [34]).

2.3 Vibrionen

Vibrionen sind Umweltbakterien, die weltweit salzhaltige Gewässer, Brackwasser und Feuchtgebiete besiedeln, aber auch in der mikrobiellen Flora aquatischer Tiere auftreten können. Für Menschen können der Wasserkontakt und die Aufnahme von *Vibrio* (V.)-haltigem Seafood (Fische, Meeres-tiere) problematisch werden. Als bakterielle Kontaminanten können insbesondere *V. cholerae*, *V. vulnificus* und *V. parahaemolyticus* Infektionen auslösen [35, 36]. Die humane Bedeutung der einzelnen Spezies ist regional unterschiedlich und an gebietsspezifische Faktoren gekoppelt, wie den Salzgehalt der Gewässer, die Luft- und Wassertemperaturen sowie Schwankungen, denen sie unterliegen [37].

Die Gattung *Vibrio* weist mehr als 135 Spezies auf [38], von denen drei zum Großteil für intestinale (z. B. Gastroenteritis) bzw. extraintestinale Infektionen (z. B. Mittelohrentzündung) ursächlich sind [35]. Weltweit bedeutend sind *V. cholerae* O1/O139 Serotypen mit dem Cholera-Toxin, da sie in tropischen und subtropischen Regionen mit einer mangelhaften Wasserhygiene zu pandemischen Cholera-Ausbrüchen führen können. In Europa sind bisher nur *V. cholerae* non-O1/non-O139 Serogruppen und andere *Vibrio*-Arten, auch Nicht-Cholera-Vibrionen (NCV) genannt, endemisch. *V. cholerae* non-O1/non-O139 können zu selbstlimitierenden Infektionen mit moderaten Durchfallssymptomen führen, stehen jedoch kaum im Zusammenhang mit dem Lebensmittelkonsum. Gastrointestinale Erkrankungen werden in Europa hauptsächlich mit Hämolyisierenden (*trh/tdh*)-kodierenden *V. parahaemolyticus*-Isolaten und dem Verzehr von rohem oder nicht durchgegartem Seafood in Verbindung gebracht. *V. vulnificus* hingegen spielt eine wichtige Rolle bei schweren Wundinfektionen, worauf in einem anderen Artikel dieses Sachstandsberichts eingegangen wird, der sich näher mit Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen beschäftigt (Dupke et al. [39]). Diese Spezies ist weltweit in Küstengewässern mit mäßigem Salzgehalt verbreitet und wurde auch mit tödlichen Infektionen durch den Verzehr von kontaminierten Austern in Verbindung gebracht, mit Sterblichkeitsraten bei primären Septikämien (Blutvergiftungen) von teilweise über 50% [37]. Genaue Informationen zu lebensmittelbedingten *Vibrio*-Infektionen sind bisher nicht verfügbar, da der Erregernachweis bei Durchfallerkrankungen teilweise nicht zur risikobasierten Diagnostik zählt bzw. eine Meldepflicht für humane *Vibrio*-In-

fektionen europaweit nicht existiert. Auch in Deutschland wurden seit der Einführung der Meldepflicht nach IfSG im Jahr 2020 nur Einzelfälle gastrointestinaler NCV-Infektionen erfasst, was entweder auf eine geringe Exposition mit *Vibrio*-haltigen Produkten hinweisen kann, oder auch darauf, dass ein Großteil der Erkrankungen nicht erkannt und somit nicht gemeldet wird [40].

Die Bedeutung von Fisch und Meeresfrüchten als Lebensmittel hat aufgrund ihres hohen Protein-, Vitamin- und Mineralstoffgehalts zugenommen. Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch in Deutschland wurde langjährig über Wildfang aus Gewässern gedeckt, stammt aber zunehmend aus Aquakulturen. Im Allgemeinen wird Seafood prozessiert angeboten (z. B. erhitzt, mariniert, geräuchert) und sollte damit keine oder kaum Vibrionen enthalten. Eine Gefährdung geht jedoch von rohen und ungenügend erhitzten Produkten aus [40]. Insbesondere Muscheln und Austern sind durch ihre natürliche Lebensweise, Nährstoffe aus dem Wasser zu filtrieren, prädestiniert dafür, auch geringe Mengen von Vibrionen aus dem Wasser anzureichern. Sie stellen somit ein Gesundheitsrisiko insbesondere für Personen mit geschwächtem Immunsystem oder Vorerkrankungen dar.

In Muscheln und Austern werden häufig *V. alginolyticus* (teilweise im Zusammenhang mit humanen Mittelohrentzündungen) und *V. parahaemolyticus*, selten *V. cholerae* non-O1/non-O139 und *V. vulnificus* nachgewiesen, wobei *V. alginolyticus* ganzjährig und die anderen Spezies ausschließlich in den warmen Sommer- und Herbstmonaten vorkommen [41]. Innerhalb Europas züchten verschiedene Länder (z. B. Spanien, Frankreich, Vereinigtes Königreich) Muscheln und Austern an, die z. T. stark mit toxinogenen

Umweltassoziierte Keime wie wasserbürtige Vibrionen finden vermehrt ihren Weg in Lebensmittel, v. a. Seafood, und sorgen für einen Anstieg der Infektionen.

Vibrionen (bis zu 25% toxinogene *V. parahaemolyticus*) belastet sind [40].

Zur Eintrittswahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung nach Exposition mit humanpathogenen *Vibrio*-Spezies liegen kaum belastbare Daten vor. Grundsätzlich korreliert das Risiko einer gesundheitlichen Beeinträchtigung mit der aufgenommenen Menge pathogener Vibrionen und ist auch abhängig von der jeweiligen Spezies. Darüber hinaus ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer gesundheitlichen Beeinträchtigung bei vulnerablen Personengruppen (YOPI: young, old, pregnant, immunocompromised people) erhöht.

Einfluss des Klimas auf *Vibrio*-Infektionen

Im weltweiten Vergleich sind lebensmittelbedingte *Vibrio*-Infektionen in Europa bislang selten, was sich im Zuge des Klimawandels zukünftig ändern kann. Grundsätzlich wirken sich Wassertemperaturen oberhalb von 12 °C sowie niedrige oder moderate Salzgehalte (1–25 g/L) begünstigend auf das Vorkommen von *Vibrio* spp. aus [36]. Optimale Wachstumsbedingungen treten in Europa bereits in den Sommermonaten an der Atlantikküste und in den Binnenmeeren auf [42]. Das Auftreten von *Vibrio* spp. wird durch die globale Erwärmung und die Zunahme von Hitzeperioden begünstigt und kann zur Ausbreitung endemischer Vibrionen und ggf. auch zur Ansiedlung neuer Pathotypen in Europa führen, sodass das humane Infektionsgeschehen insbesondere in Küstenbereichen und Ästuaren, Mündungsbereichen großer Flüsse ins Meer, zukünftig erhöht werden könnte [42, 43]. Die kontinuierliche Steigerung der Wassertemperatur wird zu einer Verstärkung der *Vibrio*-Belastung in den europäischen Fang-, Ernte-

und Zuchtgebieten von Seafood führen und sich zukünftig auch über die Sommer- und Herbstmonate hinweg ausweiten. Aktuell ist das Vorkommen pathogener Vibrionen in wechselwarmen Gewässern wie Nord- und Ostsee gering, während in Gewässern mit gleichbleibend warmen Temperaturen, aus denen Seafood z. T. importiert wird, vermehrt toxinogene NCV nachgewiesen werden [41]. In Seafood korreliert das Vorkommen der humanpathogenen Spezies ebenfalls direkt mit den Wassertemperaturen [36, 40].

Eine Minimierung des Risikos für den Menschen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Kontakt mit und dem Konsum von Seafood, ist möglich durch die Vermeidung der Exposition mit pathogenen Spezies, z. B. durch geeignete Produktverarbeitungsstrategien, thermische Behandlungen, die Einhaltung hygienischer Maßnahmen, eine strikte Kühlkette und eine gute und schnelle Überwachung unmittelbar nach dem Fang, der Ernte oder beim Import [40].

3. Parasiten

Der Klimawandel kann auch Infektionen durch Parasiten beeinflussen, vor allem wenn diese sich durch eine maßgebliche Umweltpräsenz und eine hohe Umweltstabilität auszeichnen. Dies trifft im Bereich der Parasiten insbesondere auf die Protozoen, einzellige Lebewesen, die als Parasiten leben, zu. Auch wenn tiefgründige Erkenntnisse fehlen, so deuten neuere Forschungsdaten (Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR); Daten nicht veröffentlicht) darauf hin, dass sich ein veränderndes Klima auch unmittelbar auf die Prävalenz und Virulenz dieser ohnehin bereits

Steigende Temperaturen und Luftfeuchtigkeit begünstigen Fitness und möglicherweise Virulenz von Parasiten wie Kryptosporidien und Giardien.

sehr umweltstabilen Erreger auswirkt. Eine Übertragungsgefahr auf den Menschen durch Lebensmittel besteht üblicherweise bei solchen Lebensmitteln, die roh oder unzureichend gegart verzehrt werden. Die Kontamination der Lebensmittel kann beispielsweise über Vektoren (z. B. Insekten und (lebensmittelliefernde) Säugetiere) aber auch über kontaminierte Bewässerungssysteme erfolgen. Außerdem können Lebensmittel durch Kreuzkontamination beeinträchtigt werden, wie beispielsweise bei mangelnder Küchenhygiene bei der Zubereitung von Speisen.

3.1 Kryptosporidien

Von der Protozoen-Gattung Kryptosporidien sind bislang mehr als 40 verschiedene Spezies beschrieben, die eine Vielzahl verschiedener Tierarten und auch den Menschen infizieren können. Hier sind insbesondere die Spezies *Cryptosporidium (C.) parvum* und *C. hominis* von Bedeutung, da sie für den größten Anteil der humanen Infektionen verantwortlich sind [44]. Während *C. hominis* fast ausschließlich beim Menschen vorkommt, gelten vor allem Rinder, Pferde, Ziegen und Schafe, aber auch Hunde, Katzen und Vögel als Wirte für *C. parvum* [45]. Die Infektion erfolgt über den fäkal-oralen Weg durch die Aufnahme der infektiösen Entwicklungsstadien (Oozysten). Übertragungen von Tier zu Tier, von Mensch zu Mensch, von Tier zu Mensch und umgekehrt sind möglich [46]. Die Infektion kann aber auch durch die Aufnahme von kontaminiertem Wasser erfolgen (z. B. Schwimmbad-, Fluss-, See- oder Quellwasser). Eine weitere Infektionsquelle können pflanzliche Lebensmittel darstellen, die mit verunreinigtem Wasser kontaminiert wurden.

Die Kryptosporidiose gehört zu den häufigsten Durchfallerkrankungen, die mit der Aufnahme von verunreinigtem Wasser in Verbindung gebracht wird. Im Jahr 2013 wurde in Deutschland ein Ausbruch mit 167 Erkrankungsfällen im Zusammenhang mit einer Überschwemmung nach einem Starkregenereignis registriert [47]. In Europa sind auch lebensmittelbedingte Erkrankungen beschrieben, die auf den Verzehr von Salaten zurückzuführen sind [24].

In Deutschland besteht eine Meldepflicht nach IfSG über den Nachweis von Kryptosporidien im Zusammenhang mit einer Erkrankung. Jährlich werden dem RKI zwischen 900 und 2.000 Fälle gemeldet. In Europa sind es jährlich 8.000–14.000 Fälle. Daten des Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC) zeigen, dass die Kryptosporidiose in Europa einen saisonalen Anstieg jeweils im späten Frühjahr und im Spätsommer bis Frühherbst aufweist [48].

Vor allem Kleinkinder, Personen mit geschwächtem Immunsystem, Reisende in Entwicklungsländer und Personen, die unbehandeltes Wasser trinken, weisen ein erhöhtes Infektionsrisiko auf.

Eine Infektion kann asymptomatisch oder symptomatisch verlaufen. Als Symptome sind langanhaltender wässriger Durchfall mit Gewichtsverlust, starke Bauchschmerzen oder -krämpfe, Übelkeit, Erbrechen und Kopfschmerzen beschrieben [49]. Nach der Infektion kann es zu weiteren Komplikationen (z. B. Entzündungen der Bauchspeicheldrüse, Blinddarmentzündung, Beeinträchtigung der Lunge) bis hin zum Tod kommen. Nach Rückgang der Symptome werden noch über viele Wochen die Oozysten weiterhin über den Stuhl ausgeschieden. Die Infektionsdosis bei

Mit einer Zunahme von Infektionen durch Kryptosporidien und Giardien ist zu rechnen.

Kryptosporidien ist gering und liegt, je nach Spezies, zwischen 10 und 1.000 Oozysten [50]; es wird jedoch vermutet, dass eine Oozyste für eine Infektion beim Menschen ausreichen könnte [51].

3.2 Giardien

Auch die Parasiten der Protozoen-Gattung *Giardia* können durch den Klimawandel beeinflusst werden. Giardien werden derzeit in insgesamt acht Spezies eingeteilt [52]. Die Spezies *Giardia (G.) duodenalis* (Synonyme: *G. lamblia*, *G. intestinalis*) ist jedoch die einzige Spezies dieser Gattung, die neben zahlreichen Säugetierarten auch den Menschen infizieren kann. *G. duodenalis* ist weltweit verbreitet; der Mensch wird als Hauptreservoir angesehen. Die Infektion erfolgt fäkal-oral durch die Aufnahme der infektiösen Entwicklungsstadien des Parasiten (1–10 Zysten ausreichend) mit kontaminiertem Leitungswasser oder unbehandeltem Süßwasser aus Seen oder Bächen. *Giardia*-Zysten können aber auch durch den Verzehr kontaminierter Lebensmittel oder durch engen Kontakt mit infizierten Personen oder Tieren übertragen werden [53].

Die von *G. duodenalis* hervorgerufene Erkrankung Giardiasis ist weltweit eine der häufigsten Darmparasitosen beim Menschen [54]. Die Prävalenzraten liegen in Entwicklungsländern deutlich höher als in Industrieländern. So wurden beispielsweise im Jahr 2019 dem RKI 3.296 reiseassoziierte Erkrankungsfälle übermittelt. Das hierbei am häufigsten genannte Infektionsland war Indien [26]. Allerdings wird mit weiter fortschreitender klimawandelbedingter Erwärmung auch mit vermehrten lokalen Infektionen zu rechnen sein. Säuglinge und Kleinkinder, ältere Menschen, Reisende und

immungeschwächte Personen gehören zu den Hochrisikogruppen [55]. In über 50% der Fälle verläuft die Erkrankung asymptomatisch, jedoch kann der Verlauf bei Säuglingen und älteren Menschen schwerwiegend sein [56].

In Deutschland ist der Nachweis des Erregers im Zusammenhang mit einer Erkrankung meldepflichtig.

Weltweit verursacht *G. duodenalis* Schätzungen zufolge 28,2 Millionen Fälle von Durchfallerkrankungen pro Jahr, die auf eine Kontamination von Lebensmitteln zurückzuführen sind [52]. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority, EFSA) hat für das Jahr 2019 in Europa 14 lebensmittelbedingte Ausbrüche und 3 Ausbrüche durch den Konsum von Wasser erfasst [57]. Angaben zu lebensmittelbedingten Ausbrüchen in Deutschland liegen bislang nicht vor.

3.3 Einfluss des Klimas auf Parasiten

Kryptosporidien und Giardien können über einen längeren Zeitraum infektiös bleiben und vor allem nach Rohverzehr kontaminierter Lebensmittel Erkrankungen auslösen.

Die hohe Stabilität gegenüber Umwelteinflüssen, insbesondere die lange Überlebensfähigkeit im wässrigen Milieu, legt die Schlussfolgerung nahe, dass diese Parasiten künftig als Krankheitserreger häufiger in Erscheinung treten könnten. Durch Wetterextreme wie Starkregen und Überschwemmungen, welche im Zuge des Klimawandels auch in unseren Breiten vermehrt zu erwarten sind, erhöht sich das Risiko des Eintrags infektiöser Oozysten/Zysten in Gewässern sowie das Risiko einer Kontamination von pflanzlichen Lebensmitteln. Eine Minimierung des Risikos für den Menschen erfolgt durch eine gute Küchenhygiene.

Die Erwärmung der Ozeane führt zu einem vermehrten Wachstum Toxinproduzierender Algen, deren Toxine über Meerestiere in die Nahrungskette gelangen können.

4. Biogene Toxine mariner Herkunft

Meeresfrüchte decken mehr als 20% des Proteinbedarfs von über 3 Milliarden Menschen weltweit. Der Verbrauch von Fisch als Nahrungsmittel ist in den letzten 50 Jahren jährlich um 3,1% gestiegen [58]. Durch den Klimawandel kommt es zunehmend zu einer Erwärmung, Übersäuerung und Sauerstoffarmut der Ozeane, zu verändertem Salzgehalt des Wassers sowie zum Anstieg des Meeresspiegels. Die Temperatur des Oberflächenwassers der Ozeane hat sich stark erhöht, da mehr als 90% des globalen Temperaturanstiegs bislang von den Ozeanen absorbiert wurde [59]. Durch diese Veränderungen wird die biologische Vielfalt der Meere beeinträchtigt, was sich wiederum erheblich auf die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln, tierischem Protein und essenziellen Mikronährstoffen für Milliarden von Menschen auf der ganzen Welt auswirken kann [60, 61].

Die genannten Faktoren können sich auch auf das Vorkommen und die Zusammensetzung des marinen Phytoplanktons auswirken. Planktonische Mikroalgen bilden die Grundlage des aquatischen Nahrungsnetzes, können aber bei einem massenhaften Auftreten schädliche Auswirkungen haben. Das Phänomen des plötzlichen, explosiven Wachstums von Algen wird als Algenblüte bezeichnet. Wenn diese Blüten negative Folgen haben, indem sie z. B. hypoxische oder anoxische Bedingungen schaffen (Sauerstoffmangel oder vollständiges Fehlen von Sauerstoff) oder Toxine produzieren, werden sie als schädliche Algenblüten (harmful algal blooms, HABs) bezeichnet. HABs haben das Potenzial, die Fischgemeinschaft und Nahrungsnetze zu stören, und können sogar zu massivem Artensterben führen [62]. Derzeit sind ca. 300 Mikroalgen-Arten bekannt,

die an der Entstehung solcher Algenblüten beteiligt sein können. Von diesen können rund 100 Arten Toxine bilden, die bei Tier und Mensch zu spezifischen toxischen Syndromen führen können.

Marine Biotoxine gelangen durch wasserfiltrierende und algenfressende Organismen, wie Schalentieren und Fische, in die Nahrungskette und können somit aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen [63, 64]. Weiterhin kann eine Exposition gegenüber den Toxinen, die von marinem Phytoplankton gebildet werden, inhalativ oder dermal durch Aerosole erfolgen, die Toxine und Zellfragmente enthalten und zu Hautreizungen und Atemwegsbeschwerden führen können [65, 66].

Der Klimawandel verändert die geografische Verteilung einiger Algenspezies, die an der Bildung von HABs beteiligt sein können. Warmwasser-Arten können sich z. B. polwärts ausbreiten und in Gegenden auftreten, in denen sie bisher nicht heimisch waren. In diesem Zusammenhang ist die Identifizierung und die Untersuchung der geografischen Verteilung der Toxinproduzierenden Organismen von entscheidender Bedeutung für die Umsetzung geeigneter Präventiv- und Kontrollmaßnahmen vor der Ernte bzw. beim Vertrieb und dem Verkauf von Meeresfrüchten. Dies ist insbesondere wichtig, da marine Biotoxine im Normalfall organoleptisch (durch Geruch, Geschmack oder Aussehen) nicht wahrnehmbar sind und in der Regel durch Kochen, Einfrieren oder andere Lebensmittelzubereitungsprozesse nicht zerstört werden.

Im Sinne des vorsorglichen gesundheitlichen Verbraucherschutzes wurden innerhalb der EU Höchstgehalte für fünf verschiedene Toxin-Gruppen in lebenden Muscheln

festgelegt. Weiterhin dürfen Produkte, die Verbindungen der Ciguatoxin-Gruppe enthalten und beim Menschen eine leichte bis schwere Vergiftung (Ciguatera) hervorrufen können [67], innerhalb der EU nicht in Verkehr gebracht werden [68, 69].

5. Fazit und Handlungsempfehlungen

Klimaveränderungen wirken sich auf verschiedene Habitate aus, die sich durch Wetterereignisse wie langanhaltende Trockenperioden, Temperaturerhöhung und Starkregen verändern können. Diese Veränderungen beeinflussen auch die aus diesen Habitaten gewonnenen Lebensmittel und Mikroorganismen bzw. Toxine, die mit diesen Lebensmitteln assoziiert sein können. So können Lebensmittel stärker mit krankmachenden Keimen belastet sein oder Keime enthalten, die bisher in einer Region noch nicht vorkamen. Aber auch indirekt wirken sich klimabedingte Ereignisse auf Lebensmittel aus. So wird beispielsweise durch eine immer weiter zunehmende Wasserknappheit häufiger auf aufbereitete Abwässer zur Bewässerung von Lebensmitteln zurückgegriffen. Weil auch solche Abwässer noch Parasiten, Bakterien und Viren in krankmachenden Konzentrationen enthalten können, sollten Pflanzenteile, die üblicherweise roh verzehrt werden, nicht mit aufbereiteten Abwässern in Berührung kommen, oder weiterhin mit Trinkwasser bewässert werden [23–25]. Es ist damit zu rechnen, dass der fortschreitende Klimawandel zu einem Anstieg der hier diskutierten Infektionen und Intoxikationen in Deutschland führt und diese somit ein wachsendes Public-Health-Risiko darstellen.

Handlungsempfehlungen zur Minimierung des Gesundheitsrisikos durch lebensmittelbedingte Infektionen und Intoxikationen sehen wir insbesondere in der Küchenhygiene, auf die bei der Zubereitung von Speisen stets geachtet werden sollte. Hierzu gehören das gründliche Händewaschen und die Verwendung frischer Küchenutensilien nach dem Bearbeiten von rohem Fleisch und Fisch, sowie die Vermeidung von Kreuzkontaminationen, d. h. einer direkten oder indirekten Keimübertragung von einem Lebensmittel auf ein anderes Lebensmittel. Durch das Tragen von Handschuhen kann das Eindringen von Erregern über unbemerkte Hautverletzungen vermieden werden. Die Sicherheit von Lebensmitteln hängt zudem in hohem Maße davon ab, ob die Kühlkette aufrechterhalten wird. Außerdem lassen sich durch einen ausreichenden Erhitzungsprozess die meisten mikrobiologischen Erreger sicher abtöten, bei der Zubereitung von Seafood ist z. B. eine Kerntemperatur von 70 °C für mindestens zwei Minuten einzuhalten. Mit Lebensmitteln assoziierte biogene Toxine hingegen sind weitestgehend temperaturunempfindlich [40, 70, 71].

Ein weiteres Feld für Handlungsempfehlungen betrifft die Nutzung neuer Technologien zur Verfolgung von Lieferketten. Angesichts eines globalisierten Vertriebsnetzes für Lebensmittel sowie des Einsatzes verschiedener Verarbeitungs- und Konservierungstechniken kann es schwierig sein, die Lieferkette eines Produkts zu verfolgen und so die potenziellen Risiken zu ermitteln. Der technische Fortschritt hat hierfür digitale Lösungen hervorgebracht. So können beispielsweise Kenntnisse über Fischbestände, die Rückverfolgbarkeit von Seafood und die Transparenz von Lieferketten von innovativen Ansätzen profitieren. Hierzu zählen z. B. Blockchain oder Radio Frequency Identification

Device Tags zur Produktauthentifizierung (einschließlich Arten- und Fangdaten) sowie Anwendungen von maschinellem Lernen, Data Mining, künstlicher Intelligenz und weiteren digitalen Technologien [72]. Diese Methoden digital gestützter Lebensmittelversorgungsketten können die nachhaltige Entwicklung in der Lebensmittelindustrie unterstützen, die zum Ziel hat, verantwortungsvolle und ethische Erzeugerinnen und Erzeuger zu belohnen und illegale oder unethisch hergestellte Erzeugnisse aus den Lieferketten fernzuhalten [73].

Weitere Forschung, z. B. zu den Zusammenhängen von klimatischen Veränderungen und Erkrankungsfällen, oder zur geografischen Verteilung von Toxin-produzierenden Organismen, ist nötig.

Korrespondenzadresse

Dr. Martin H. Richter
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung Biologische Sicherheit
Max-Dohrn-Str. 8–10
10589 Berlin
E-Mail: Martin.Richter@bfr.bund.de

Zitierweise

Dietrich J, Hammerl JA, Johne A, Kappenstein O, Loeffler C et al. (2023)
Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelassoziierte
Infektionen und Intoxikationen
J Health Monit 8(S3): 85–101.
DOI 10.25646/11393

Die englische Version des Artikels ist verfügbar unter:
www.rki.de/jhealthmonit-en

Datenschutz und Ethik

Dieser Artikel enthält Angaben zu eigenen Forschungsergebnissen, die unter Einhaltung ethischer Richtlinien und der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) durchgeführt wurden.

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

Campylobacter: Rosner B

Salmonellen: Szabo I

Vibrionen: Hammerl JA, Richter MH

Parasiten: Johne A, Nöckler K, Richter MH

Biogene Toxine: Dietrich J, Spielmeier A, Loeffler C, Kappenstein O

Alle Autorinnen und Autoren haben vergleichbare Beiträge geleistet.

Danksagung

Das RKI-Koordinationssteam 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 Maïke Voss für die beratende Tätigkeit in der projektbegleitenden Fachgruppe.

Literatur

1. Mora C, McKenzie T, Gaw IM et al. (2022) Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. *Nat Clim Chang* 12(9):869–875
2. Thebo AL, Drechsel P, Lambin EF et al. (2017) A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environ Res Lett* 12(7):074008
3. 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 (Stand: 01.06.2023)
4. Wingstrand A, Neimann J, Engberg J et al. (2006) Fresh chicken as main risk factor for campylobacteriosis, Denmark. *Emerg Infect Dis* 12(2):280–285
5. European Food Safety Authority (2010) Scientific opinion on quantification of the risk posed by broiler meat to human campylobacteriosis in the EU. *EFSA Journal* 8(1):1437
6. Rosner BM, Schielke A, Didelot X et al. (2017) A combined case-control and molecular source attribution study of human *Campylobacter* infections in Germany, 2011–2014. *Sci Rep* 7(1):5139
7. Stingl K, Knuver MT, Vogt P et al. (2012) Quo vadis? – Monitoring *Campylobacter* in Germany. *Eur J Microbiol Immunol (Bp)* 2(1):88–96
8. Schonberg-Norio D, Takkinen J, Hanninen ML et al. (2004) Swimming and *Campylobacter* infections. *Emerg Infect Dis* 10(8):1474–1477
9. Hyllestad S, Iversen A, MacDonald E et al. (2020) Large water-borne *Campylobacter* outbreak: Use of multiple approaches to investigate contamination of the drinking water supply system, Norway, June 2019. *Euro Surveill* 25(35):2000011
10. Patrick ME, Christiansen LE, Waino M et al. (2004) Effects of climate on incidence of *Campylobacter* spp. in humans and prevalence in broiler flocks in Denmark. *Appl Environ Microbiol* 70(12):7474–7480
11. Ishihara K, Takahashi R, Andoh M et al. (2012) Effects of climatic elements on *Campylobacter*-contaminated chicken products in Japan. *Epidemiol Infect* 140(6):991–996
12. Williams MS, Golden NJ, Ebel ED et al. (2015) Temporal patterns of *Campylobacter* contamination on chicken and their relationship to campylobacteriosis cases in the United States. *Int J Food Microbiol* 208:114–121
13. Meldrum RJ, Griffiths JK, Smith RM et al. (2005) The seasonality of human *Campylobacter* infection and *Campylobacter* isolates from fresh, retail chicken in Wales. *Epidemiol Infect* 133(1):49–52
14. David JM, Pollari F, Pintar KD et al. (2017) Do contamination of and exposure to chicken meat and water drive the temporal dynamics of *Campylobacter* cases? *Epidemiol Infect* 145(15):3191–3203
15. Rushton SP, Sanderson RA, Diggle PJ et al. (2019) Climate, human behaviour or environment: Individual-based modelling of *Campylobacter* seasonality and strategies to reduce disease burden. *J Transl Med* 17(1):34
16. Louis VR, Gillespie IA, O'Brien SJ et al. (2005) Temperature-driven *Campylobacter* seasonality in England and Wales. *Appl Environ Microbiol* 71(1):85–92
17. Oberheim J, Hoser C, Luchters G et al. (2020) Small-scaled association between ambient temperature and campylobacteriosis incidence in Germany. *Sci Rep* 10(1):17191
18. Soneja S, Jiang C, Romeo Upperman C et al. (2016) Extreme precipitation events and increased risk of campylobacteriosis in Maryland, U.S.A. *Environ Res* 149:216–221
19. Kuhn KG, Nygard KM, Guzman-Herrador B et al. (2020) *Campylobacter* infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. *Sci Rep* 10(1):13874
20. Sterk A, Schijven J, de Roda Husman AM et al. (2016) Effect of climate change on runoff of *Campylobacter* and *Cryptosporidium* from land to surface water. *Water Res* 95:90–102
21. Duchenne-Moutien RA, Neetoo H (2021) Climate change and emerging food safety issues: A Review. *J Food Prot* 84(11):1884–1897
22. Umweltbundesamt (2021) Neue EU-Verordnung zu Wasserwiederverwendung. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/wasserwiederverwendung/neue-eu-verordnung-zu-wasserwiederverwendung> (Stand: 15.01.2023)

23. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2020) Aufbereitete Abwässer: Bakterielle Krankheitserreger auf frischem Obst und Gemüse vermeiden. <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/aufbereitete-abwaesser-bakterielle-krankheitserreger-auf-frischem-obst-und-gemuese-vermeiden.pdf> (Stand: 15.01.2023)
24. BfR (2022) Aufbereitete Abwässer: Protozoen auf pflanzlichen Lebensmitteln vermeiden. <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/aufbereitete-abwaesser-protozoen-auf-pflanzlichen-lebensmitteln-vermeiden.pdf> (Stand: 15.01.2023)
25. BfR (2022) Aufbereitete Abwässer: Virale Krankheitserreger auf pflanzlichen Lebensmitteln vermeiden. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/aufbereitete-abwaesser-virale-krankheitserreger-auf-pflanzlichen-lebensmitteln-vermeiden.pdf> (Stand: 15.01.2023)
26. Falkenhorst G, Enkelmann J, Frank C et al. (2020) Zur Situation bei wichtigen Infektionskrankheiten – Reiseassoziierte Krankheiten 2019. *Epid Bull* 50:7–20
27. Interagency Food Safety Analytics Collaboration (2021) Food-borne illness source attribution estimates for 2019 for *Salmonella*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter* using multi-year outbreak surveillance data, United States. Department of Health and Human Services' Centers for Disease Control and Prevention and U.S. Food and Drug Administration; U.S. Department of Agriculture's Food Safety and Inspection Service. <https://www.cdc.gov/foodsafety/ifsac/pdf/P19-2019-report-TriAgency-508.pdf> (Stand: 15.01.2023)
28. EFSA, ECDC (2021) The European Union One Health 2020 zoonoses report. *EFSA Journal* 19(12):6971
29. Olaimat AN, Holley RA (2012) Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiol* 32(1):1–19
30. Beuchat LR (2002) Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes Infect* 4(4):413–423
31. Zhang Y, Bi P, Hiller JE (2010) Climate variations and *Salmonella* infection in Australian subtropical and tropical regions. *Sci Total Environ* 408(3):524–530
32. Akil L, Ahmad HA, Reddy RS (2014) Effects of climate change on *Salmonella* infections. *Foodborne Pathog Dis* 11(12):974–980
33. Zhang Y, Bi P, Hiller J (2008) Climate variations and salmonellosis transmission in Adelaide, South Australia: A comparison between regression models. *Int J Biometeorol* 52(3):179–187
34. Butsch C, Beckers LM, Nilson E et al. (demnächst) Gesundheitliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen – Risikokaskaden im anthropogenen Klimawandel. *J Health Monit*. www.rki.de/jhealthmonit
35. Farmer III, JJ, Janda JM, Brenner FW et al. (2015) *Vibrio*. In: Whitman WB (Hrsg) *Bergey's manual of systematics of archaea and bacteria*. John Wiley & Sons, Inc., in association with Bergey's Manual Trust, S. 1–79
36. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), WHO (2020) Risk assessment tools for *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* associated with seafood. Microbiological risk assessment series;20. Rome. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330867> (Stand: 15.01.2023)
37. Centers for Disease Control and Prevention (2019) *Vibrio* and food. <https://www.cdc.gov/vibrio/food.html> (Stand: 15.01.2023)
38. DSMZ (2022) LPSN - List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature. Genus *Vibrio*. <https://lpsn.dsmz.de/genus/vibrio> (Stand: 15.01.2023)
39. Dupke S, Buchholz U, Fastner J et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit* 8(S3): 67–84. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 01.06.2023)
40. BfR (2022) Bakterielle Lebensmittelinfektionen durch Vibrionen: Gesundheitliche Bewertung zum Vorkommen von *Vibrio* spp. (Nicht-Cholera-Vibrionen) in Lebensmitteln. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/bakterielle-lebensmittelinfektionen-durch-vibrionen-gesundheitliche-bewertung-zum-vorkommen-von-vibrio-spp-in-lebensmitteln.pdf> (Stand: 15.01.2023)
41. Martinez-Urtaza J, Bowers JC, Trinanes J et al. (2010) Climate anomalies and the increasing risk of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* illnesses. *Food Res Int* 43(7):1780–1790
42. Baker-Austin C, Oliver JD, Alam M et al. (2018) *Vibrio* spp. infections. *Nat Rev Dis Primers* 4(1):8

43. Vezzulli L, Baker-Austin C, Kirschner A et al. (2020) Global emergence of environmental non-O1/O139 *Vibrio cholerae* infections linked with climate change: A neglected research field? *Environ Microbiol* 22(10):4342–4355
44. O’Leary JK, Blake L, Corcoran GD et al. (2021) Development of a novel, high resolution melting analysis based genotyping method for *Cryptosporidium parvum*. *Eur J Protistol* 79:125799
45. Bouzid M, Hunter PR, Chalmers RM et al. (2013) *Cryptosporidium* pathogenicity and virulence. *Clin Microbiol Rev* 26(1):115–134
46. Davies AP, Chalmers RM (2009) Cryptosporidiosis. *BMJ* 339:b4168
47. Gertler M, Durr M, Renner P et al. (2015) Outbreak of *Cryptosporidium hominis* following river flooding in the city of Halle (Saale), Germany, August 2013. *BMC Infect Dis* 15:88
48. Caccio SM, Chalmers RM (2016) Human cryptosporidiosis in Europe. *Clin Microbiol Infect* 22(6):471–480
49. Carter BL, Chalmers RM, Davies AP (2020) Health sequelae of human cryptosporidiosis in industrialised countries: A systematic review. *Parasit Vectors* 13(1):443
50. RKI (2004) RKI-Ratgeber Infektionskrankheiten – Merkblätter für Ärzte. Kryptosporidiose. *Epid Bull* 34:279–281
51. Hamilton KA, Waso M, Reyneke B et al. (2018) *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater and surface water environments. *J Environ Qual* 47(5):1006–1023
52. Ryan U, Hijjawi N, Feng Y et al. (2019) *Giardia*: An under-reported foodborne parasite. *Int J Parasitol* 49(1):1–11
53. Burnett MW (2018) Giardiasis. *J Spec Oper Med* 18(1):106–107
54. Certad G, Viscogliosi E, Chabe M et al. (2017) Pathogenic mechanisms of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Trends Parasitol* 33(7):561–576
55. Leung AKC, Leung AAM, Wong AHC et al. (2019) Giardiasis: An overview. *Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov* 13(2):134–143
56. Rumsey P, Waseem M (2021) *Giardia* *Lambli*a Enteritis. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL)
57. EFSA, ECDC (2021) The European Union One Health 2019 zoonoses report. *EFSA Journal* 19(2):6406
58. FAO (2020) The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cag229en/> (Stand: 15.01.2023)
59. IPCC (2019) Summary for Policymakers. In: Pörtner HO, Roberts DC, Masson-Delmotte V et al. (Hrsg) Intergovernmental Panel on Climate change special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, NY, USA, S. 3–35. https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/097A895553D86981DFE6195ADFD3DDA4/stamped-9781009157971pre2_3-36.pdf/summary_for_policy-makers.pdf (Stand: 16.01.2023)
60. Hicks CC, Cohen PJ, Graham NAJ et al. (2019) Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature* 574(7776):95–98
61. Falkenberg LJ, Bellerby RGJ, Connell SD et al. (2020) Ocean acidification and human health. *Int J Environ Res Public Health* 17(12):4563
62. Kudela RM, Berdalet E, Bernard S et al. (2015) Harmful algal blooms: A scientific summary for policy makers. Intergovernmental Oceanographic Commission, Scientific Committee on Oceanic Research, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000233419> (Stand: 15.01.2023)
63. Friedman MA, Fernandez M, Backer LC et al. (2017) An updated review of ciguatera fish poisoning: Clinical, epidemiological, environmental, and public health management. *Mar Drugs* 15(3):72
64. Food and Drug Administration (2020) Fish and fishery products hazards and controls guidance. Fourth Edition U.S. Food Drug Administration. <https://www.fda.gov/media/80637/download> (Stand: 15.01.2023)
65. Ciminiello P, Dell’Aversano C, Iacovo ED et al. (2014) First finding of *Ostreopsis cf. ovata* toxins in marine aerosols. *Environ Sci Technol* 48(6):3532–3540
66. Pierce R, Henry M, Blum P et al. (2003) Brevetoxin concentrations in marine aerosol: Human exposure levels during a *Karenia brevis* harmful algal bloom. *Bull Environ Contam Toxicol* 70(1):161

67. FAO, WHO (2020) Report of the expert meeting on ciguatera poisoning: Rome, 19–23 November 2018. Food safety and quality series; 9. Rome.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/332640>
(Stand: 15.01.2023)
68. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (2010) Scientific opinion on marine biotoxins in shellfish – Emerging toxins: Ciguatoxin group. EFSA Journal 8(6):1627
69. Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs. Amtsblatt der Europäischen Union L 139/55, Vol 47.
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0853R\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0853R(01)&from=EN) (Stand: 24.01.2023)
70. BfR (2018) Wildfleisch: Gesundheitliche Bewertung von humanpathogenen Parasiten.
<https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/wildfleisch-gesundheitliche-bewertung-von-humanpathogenen-parasiten.pdf>
(Stand: 15.01.2023)
71. BfR (2019) Schutz vor lebensmittelbedingten Infektionen mit *Campylobacter*.
<https://www.bfr.bund.de/cm/350/verbrauchertipps-schutz-vor-lebensmittelbedingten-infektionen-mit-campylobacter.pdf>
(Stand: 15.01.2023)
72. Loeffler CR, Tartaglione L, Friedemann M et al. (2021) Ciguatera mini review: 21st century environmental challenges and the interdisciplinary research efforts rising to meet them. Int J Environ Res Public Health 18(6):3027
73. Tsolakis N, Niedenzu D, Simonetto M et al. (2020) Supply network design to address United Nations Sustainable Development Goals: A case study of blockchain implementation in Thai fish industry. J Bus Res 131:495–519

Impressum

Journal of Health Monitoring

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

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

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