

28. August 2023

Verringert die Behandlung mit UV-C-LED-Licht die Anzahl an Salmonellen und *Campylobacter* auf Eiern?

Rohe Eier können auf ihrer Schale oder im Inneren bakterielle Krankheitserreger enthalten. Dazu zählen *Campylobacter* ebenso wie Salmonellen, die zu Lebensmittelinfektionen führen können. Sie gehen meist mit Magenkrämpfen, Durchfall und Erbrechen einher. In der Regel heilen Lebensmittelinfektionen von selbst aus. Für Menschen, deren körpereigene Abwehrkräfte noch nicht vollständig ausgebildet oder beeinträchtigt sind (kleine Kinder, Schwangere und ihr ungeborener Nachwuchs, ältere Menschen und Personen mit Vorerkrankungen), können sie im Extremfall aber auch lebensbedrohlich sein.

Die Daten der amtlichen Lebensmittelüberwachung zeigen, dass in Deutschland regelmäßig mit dem Vorkommen von *Campylobacter* und seltener auch von Salmonellen auf den Schalen von Konsumeiern gerechnet werden muss. Neben der Bekämpfung des Vorkommens von Krankheitserregern in Legehennenbetrieben, können technische Verfahren helfen, die Zahl auf Eiern vorhandener Krankheitserreger zu reduzieren. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat im Forschungsprojekt „UVegg“ untersucht, ob die Behandlung von Konsumeiern mit UV-C-LED-Strahlung als zusätzliche Maßnahme geeignet ist, das Risiko für Lebensmittelinfektionen durch Salmonellen und *Campylobacter* zu verringern.

Im Allgemeinen konnte in dem Projekt mittels UV-C-LED-Behandlung die Anzahl der künstlich aufgetragenen Bakterien auf Eioberflächen reduziert werden, allerdings abhängig von dem Verschmutzungsgrad und der bakteriellen Kontaminationsstufe.

Im Projekt wurde gezeigt, dass UV-C-LED-Strahlung die Anzahl der Bakterien auf optisch sauberen bzw. geringfügig verschmutzten Eioberflächen reduziert. Höhere Verschmutzungsgrade und größere Mengen an Bakterien mindern den Effekt der UV-C-LED-Bestrahlung mitunter erheblich.

Verbraucherinnen und Verbraucher können das Risiko einer Übertragung von Krankheitserregern von Hühnereiern u. a. reduzieren, indem sie rohe Hühnereier separat von anderen Lebensmitteln lagern und verarbeiten sowie Hände und Küchenutensilien nach Kontakt gründlich reinigen. Empfindliche Personengruppen sollten Eier und Speisen mit Eiern nur vollständig durchgehitzt verzehren (mindestens 2 Minuten auf 70 °C an allen Stellen des Lebensmittels).

1 Gegenstand der Bewertung

Durch erfolgreiche Bekämpfungsprogramme für Salmonellen in Legehennenbetrieben konnte das Vorkommen von Salmonellen auf Schalen von Konsumeiern deutlich reduziert werden. Dennoch werden diese Krankheitserreger bei amtlichen Untersuchungen immer wieder auf Konsumeiern nachgewiesen. Noch häufiger kommen in Deutschland *Campylobacter* auf den Schalen von Konsumeiern vor.

Um das Risiko einer Lebensmittelinfektion für Verbraucherinnen und Verbraucher durch kontaminierte Konsumeier zu minimieren, wird nach Lösungen gesucht, um möglicherweise auf den Eierschalen vorhandene Krankheitserreger zu entfernen. Es ist jedoch nicht erlaubt, Konsumeier zu waschen oder mit chemischen Substanzen zu behandeln. Daher setzen einige Eierpackstellen bereits UV-C-Niederdruck-Quecksilberdampflampen ein, um bakterielle Belastungen auf Eierschalen zu reduzieren. Die Lampen emittieren UV-Licht im „C“-Wellenbereich, welches bei Bakterien Nukleinsäure- und Protein-Schäden verursacht. In den Lampen ist jedoch Quecksilber enthalten. Die toxischen Eigenschaften dieses Schwermetalls und die notwendige Entsorgung als gefährlicher Abfall stellen für Mensch und Umwelt eine potentielle Belastung dar, weshalb der Einsatz dieser Technologie in der Europäischen Union (EU) schrittweise auslaufen soll (Verordnung (EU) 2017/852). Die UV-C-LED-Paneele sind eine mögliche Alternative zu den konventionellen UV-C-Lampen.

Experimentelle Daten zur Wirkung von UV-Strahlung auf Bakterien liegen für verschiedene Oberflächen bzw. Matrices im Lebensmittelbereich vor. Unter anderem werden Förderbänder und verschiedene Kontaktflächen mit UV-Licht behandelt, auf denen anschließend Fleisch und Fleischerzeugnisse transportiert werden (Morey, McKee, Dickson, & Singh, 2010).

Um zu prüfen, ob die UV-C-LED-Paneele gegenüber den UV-C-Niederdruck-Quecksilberdampflampen eine vergleichbare Wirksamkeit aufweisen, hat das BfR von 2018 bis 2021 gemeinsam mit mehreren Projektpartnern das Forschungsprojekt UVegg („Einsatz von UV-C/UV-C-LED-Strahlung zur Reduktion von Mikroorganismen auf Eiern“) durchgeführt.

Auf Basis der Projektergebnisse erstellte das BfR die vorliegende Stellungnahme zur Eignung der Behandlung von Konsumeiern mittels UV-C-LED-Strahlung als zusätzliche Maßnahme zur Verhütung von Lebensmittelinfektionen durch Salmonellen und *Campylobacter*.

2 Ergebnis

Salmonellen oder *Campylobacter* auf Konsumeiern stellen für Verbraucherinnen und Verbraucher ein Risiko dar, an einer Lebensmittelinfektion zu erkranken. Deshalb wird in Ergänzung zur Bekämpfung von Zoonoseerregern in Legehennenbetrieben nach geeigneten technischen Verfahren gesucht, um auf Konsumeiern vorhandene Krankheitserreger vor der Abgabe an Verbraucherinnen und Verbraucher zu entfernen oder abzutöten.

Nach Auswertung der verfügbaren Publikationen und den Forschungsergebnissen des UVegg-Projekts kommt das BfR zu dem Schluss, dass mittels LED-Paneelen generiertes UV-C-Licht (UV-C-LED) mit einer Wellenlänge von 280 Nanometern (nm), einer Intensität von $\sim 2,4$

Milliwatt/Quadratcentimeter (mW/cm^2) und einer Expositionszeit von 5 Sekunden geeignet ist, auf optisch sauberen Eierschalen vorhandene Salmonellen oder *Campylobacter* um etwa eine Log-Stufe/ cm^2 zu reduzieren. Damit ist die durch die UV-C-LED erreichte Keimreduktion geringer als die der zurzeit in Packstellen eingesetzten konventionellen UV-C Lampen. Eine sichtbare Verschmutzung der Konsumeier führt zu einer weiteren Verringerung des Effekts einer UV-C-LED-Behandlung.

Aufgrund fehlender bzw. unzureichender Daten zum quantitativen Vorkommen von Salmonellen und *Campylobacter* auf Schalen von natürlicherweise kontaminierten Konsumeiern kann der Effekt der UV-C-LED-Behandlung auf die Sicherheit von Konsumeiern nur mit einer großen Unsicherheit geschätzt werden. Unter der Annahme, dass optisch saubere bzw. geringfügig verschmutzte Hühnereier, wenn überhaupt, nur wenige Salmonellen oder *Campylobacter* auf den Eierschalen aufweisen (weniger als 10 koloniebildende Einheiten (KbE)/ cm^2 Eioberfläche) ließe sich das Risiko von Lebensmittelinfektionen mit der im Rahmen des UVegg-Projektes getesteten UV-C-LED-Behandlung reduzieren, sofern eine Rekontamination der Konsumeier verhindert wird.

Es ist anzunehmen, dass die Erhöhung der Intensität von UV-C-LED den keimreduzierenden Effekt der Behandlung verstärkt, da die derzeit in Packstellen eingesetzten konventionellen UV-C Lampen eine höhere Energiedichte erreichen. Eine Verlängerung der Expositionszeit auf bis zu 50 Sekunden hat im Rahmen der Untersuchungen im UVegg-Projekt zu keiner qualitativen Veränderung der Eier geführt. Damit ließe sich der keimreduzierende Effekt der UV-C-LED-Behandlung möglicherweise verstärken.

Derzeit liegen keine Erkenntnisse vor, dass von einer Behandlung von Konsumeiern mittels UV-C-LED Gesundheitsrisiken für Verbraucherinnen und Verbraucher ausgehen.

Als Voraussetzung für die Anwendung von UV-C-LED-Verfahren zur Behandlung von Konsumeiern sollte der Lebensmittelunternehmer aus Sicht des BfR unter anderem die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Nachweis über die Wirksamkeit der eingesetzten Behandlung,
- Dokumentation des Verfahrensablaufs der Dekontamination,
- Implementierung von Maßnahmen, die eine nachteilige Beeinflussung der Eier im Fall von technischen Störungen bei der UV-C-Behandlung verhindern.

Um eine Rekontamination der Konsumeier nach erfolgter UV-C-LED-Behandlung zu vermeiden, ist eine geeignete Platzierung der UV-C-LED-Paneele in einer Eierpackstelle erforderlich (möglichst am Ende des Eiersortierprozesses).

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Gefahrenidentifizierung

3.1.1.1 Salmonellen

Salmonella spp. sind gramnegative, in der Regel bewegliche und nicht sporenbildende Stäbchenbakterien. Sie gehören zur Bakterienfamilie der Enterobacteriaceae und zu den bedeutendsten bakteriellen Zoonoserregern. Durch biochemische und serologische

Untersuchungen lassen sich die zwei Arten (Spezies) *Salmonella (S.) enterica* und *S. bongori* differenzieren. *S. enterica* wiederum weist sechs Unterarten (Subspezies) auf. *Salmonella*-Isolate können aufgrund der Struktur ihrer Oberflächen- (O-) und Geißel- (H-) Antigene nach dem White-Kauffmann-Le Minor Schema geordnet und anhand einer Seroformel einem der mehr als 2.600 Serovare (Stämme mit identischen Antigenkombinationen) zugeordnet werden.

Bakterien der Gattung *Salmonella* sind in der Natur weit verbreitet. Sie werden bei vielen kalt- und warmblütigen Tieren nachgewiesen und können z. B. über Lebensmittel auf Menschen übertragen werden. Die meisten der 2.600 Serovare können bei Menschen und den meisten Tierarten vorkommen. Einige Serovare, wie *S. Typhi*, *S. Paratyphi*, *S. Gallinarum* und *S. Dublin*, sind wirtsspezifisch und typischerweise nur bei Menschen bzw. Hühnern oder Rindern zu finden. In der Umwelt und in oder auf verschiedenen Lebensmitteln sind Salmonellen mehrere Monate überlebensfähig. Sie sind widerstandsfähig und können unter extremen Umgebungsbedingungen überleben.

Die Wachstumsansprüche der Salmonellen sind, verglichen mit anderen Bakterien, gering. Salmonellen wachsen generell in einem Temperaturbereich von 10 - 47 °C und bei pH-Werten zwischen pH 4 und pH 9 (das pH-Optimum liegt zwischen pH 6,5 und pH 7,5).

Einige Salmonellen zeigen bei erhöhten Temperaturen (bis 54 °C) Wachstum, andere weisen eine besondere Kältetoleranz (psychrotrophe Eigenschaften) auf und wachsen auch in Lebensmitteln, die bei 2 - 4 °C gelagert werden. Der Wert der Wasseraktivität, bei dem noch ein Wachstum stattfindet (minimaler a_w -Wert), liegt je nach Substrat und Temperatur zwischen 0,92 und 0,95. In getrockneten Lebensmitteln können Salmonellen auch bei niedrigen a_w -Werten lange Zeit vermehrungsfähig bleiben.

3.1.1.2 *Campylobacter*

Campylobacter sind gramnegative, mikroaerobe, nicht sporenbildende, spiralförmig gebogene Bakterien. Sie wachsen unter mikroaeroben Bedingungen (erhöhter CO₂-Bedarf sowie höhere O₂-Empfindlichkeit). Sie sind im Darm warmblütiger Tiere weit verbreitet, vor allem im Geflügel. Während Nutztiere in aller Regel ohne klinische Symptome besiedelt sind, können Menschen an einer Campylobacteriose oder *Campylobacter*-Enteritis erkranken. Die Hauptverursacher der humanen Campylobacteriose sind thermotolerant. Das bedeutet, dass sie sich unterhalb von Temperaturen von 30 °C nicht vermehren können und ein Wachstumsoptimum bei 37 - 42 °C aufweisen (Doyle & Roman, 1982). Diese physiologischen Ansprüche resultieren darin, dass sich *Campylobacter* in oder auf Lebensmitteln in der Regel nicht vermehren können. Die wichtigsten Spezies, die humane Erkrankungen auslösen können, sind *C. jejuni* und *C. coli*. Das pH-Optimum für *Campylobacter* befindet sich zwischen 6,5 und 7,5; pH-Werte unter 4,9 oder über 9 führen zum Wachstumsstopp oder sogar einer Abnahme der Keimzahl (Doyle & Roman, 1981). Wenn *Campylobacter* in einem für sie ungünstigen Umfeld vorkommen, z. B. außerhalb des Darmtraktes der Wirtstiere, sind sie oxidativem Stress sowie Kälte- und Austrocknungsstress ausgesetzt. In Hühnerkot waren *Campylobacter* über 5 - 6 Tage mit abnehmender Anzahl kulturell nachweisbar (Ahmed, Schulz, & Hartung, 2013; Bui, Wolff, Madsen, & Bang, 2012). Unter diesen Bedingungen verlieren die Bakterien einen Teil ihrer Vitalität, können jedoch auch einen Zustand erreichen, in welchem sie nicht mehr mit den klassischen Methoden kultivierbar sind, aber möglicherweise noch eine Infektiosität aufweisen (Viable But Not Culturable – VBNC)

(Baffone et al., 2006; Bovill & Mackey, 1997; Cappelier, Minet, Magras, Colwell, & Federighi, 1999; Krüger et al., 2014).

3.1.2 Gefahrencharakterisierung

3.1.2.1 Salmonellose

Salmonellosen sind durch Bakterien der Gattung *Salmonella* spp. hervorgerufene Erkrankungen. Die typhöse Form (Typhus und typhusähnliche Erkrankungen) wird vorwiegend durch die Serovare *S. Typhi*, *S. Paratyphi* A, B und C ausgelöst. Die Übertragung kann von Mensch zu Mensch erfolgen. Die Erreger werden oral aufgenommen und verbreiten sich mit dem Blut im Körper weiter. Nach einer Inkubationszeit von wenigen Tagen bis zu drei Wochen kann es zu einer schweren, zyklisch verlaufenden Allgemeininfektion mit Durchfall und hohem Fieber kommen. Es kann auch zu Organschäden an Darm, Herz, Leber, Niere und Galle kommen. Speziell bei Patientinnen und Patienten mit Gallensteinen können die Erreger über längere Zeiträume ausgeschieden werden.

Die meisten anderen *Salmonella*-Serovare lösen aber beim Menschen die sog. enteritische Verlaufsform aus (Enteritis = "Darm-Entzündung"). Die Infektionsdosis für den erwachsenen Menschen liegt bei 10.000 (10^4) - 1.000.000 (10^6) Salmonellen. Wenn sich aber die Salmonellen in stark fetthaltigen Lebensmitteln wie Käse, Hamburger, Schokolade oder Salami befinden, oder bei besonderer Disposition, sind Erkrankungen bereits bei Infektionsdosen unter 100 (10^2) Salmonellen beobachtet worden.

Die Inkubationszeit bei Infektionen mit Enteritis-Salmonellen beträgt 5 - 72 Stunden (max. sieben Tage) und ist abhängig von der Infektionsdosis. Die Salmonellose des Menschen beginnt meist plötzlich mit häufigen wässrigen Stühlen (im Verlauf der Krankheit zunehmend mit Blutbeimengungen), teilweise begleitet von Fieber, Übelkeit, Erbrechen, Bauch- und Kopfschmerzen. Die Symptome dauern in der Regel wenige Stunden oder Tage an. Bei schweren klinischen Fällen treten Schüttelfrost, hohes Fieber, Kreislaufkollaps und weitere systemische Krankheitsbilder mit typhoidem Verlauf auf. Oft kommt ein leichter oder symptomloser Verlauf vor, der u.a. auch von der aufgenommenen Erregermenge abhängig ist.

Die Keimausscheidung von Enteritis-Salmonellen dauert im Mittel drei bis sechs Wochen, bei Säuglingen aber auch Monate. Eine Dauerausscheidung über sechs Monate ist relativ selten.

Nur in seltenen Fällen kommt es zu schweren Krankheitsverläufen und extraintestinalen Infektionen wie Perikarditis, neurologischen Erkrankungen, reaktiver Arthritis, Spondylitis oder Osteomyelitis. Todesfälle sind eher selten. Besonders gefährdet sind Personen, deren Immunabwehr noch nicht vollständig entwickelt ist (Kinder unter fünf Jahren) und Personen, deren Immunabwehr, beispielsweise aufgrund ihres hohen Alters oder durch Vorerkrankungen, geschwächt ist.

Der Nachweis von Salmonellen ist nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG) meldepflichtig (IfSG, § 7 Meldepflichtige Nachweise von Krankheitserregern). Ein rückläufiger Trend der Salmonellose-Fälle wurde in den Jahren von 2001 bis 2015 beobachtet (von 76.990 zu 13.876 Erkrankungen pro Jahr). In den Jahren von 2015 bis 2019 lagen die Zahlen relativ konstant im Bereich von etwa 13.000 bis 14.300 Erkrankungen jährlich. Mit 8.743 Fällen im Jahr 2020 sank die Anzahl der übermittelten Salmonellose-Fälle im Vergleich zum Jahr 2019 (13.696) drastisch (RKI, 2021b). Diese Beobachtungen sind aber mit der COVID-19-Pandemie

assoziiert, die sich auf das Auftreten und die Erfassung von meldepflichtigen Infektionskrankheiten ausgewirkt hat (Ullrich et al., 2021). Wie in den Vorjahren zeigten sich die höchsten altersspezifischen Inzidenzen bei Kindern unter fünf Jahren mit einem Maximum bei Kleinkindern. Beide Geschlechter waren nahezu gleichermaßen betroffen (RKI, 2021b).

Im Jahr 2020 wurden 37 % der mit Angabe eines Serovars übermittelten Fälle durch *S. Enteritidis* und ebenfalls 37 % durch *S. Typhimurium* ausgelöst. In weitem Abstand folgten *S. Infantis* (3,8 %), *S. Muenchen* (2,21 %), *S. Derby* (1,71 %) und *S. Brandenburg* (1,3 %). Dem Robert Koch-Institut (RKI) wurden im Jahr 2020 insgesamt 13 bestätigte Todesfälle im Zusammenhang mit Salmonellosen übermittelt (2019 waren es 18 Fälle). Darunter waren sieben Männer und sechs Frauen im Alter zwischen 43 und 89 Jahren (Median insgesamt: 74 Jahre). Jeweils vier der Todesfälle konnten mit den Serovaren *S. Enteritidis* und mit *S. Typhimurium* in Zusammenhang gebracht werden und ein Fall mit *S. Infantis*. Vier Todesfälle wurden ohne genaue Angaben zum Serovar übermittelt (RKI, 2021b).

Gemäß Richtlinie 2003/99/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. November 2003 wurden von den europäischen Staaten für das Jahr 2020 insgesamt 37 Salmonellose-Ausbrüche an die EU berichtet, die mit hoher Evidenz durch den Verzehr von Eiern und Eiprodukten ausgelöst wurden. Eine hohe Evidenz liegt vor, wenn aufgrund der Ergebnisse mikrobiologischer und/oder epidemiologischer Untersuchungen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zwischen dem identifizierten Lebensmittel und der diagnostizierten Erkrankung festgestellt wurde.

Nach dem Bericht der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) steht der Großteil der humanen Salmonellose-Ausbrüche mit dem Verzehr von Eiern und Eiprodukten, Backwaren sowie Fleisch und Fleischprodukten in Verbindung (EFSA/ECDC, 2021).

Die Rolle von Geflügelprodukten wurde als wiederkehrendes Risiko für Salmonellosen im Zusammenhang mit einem länderübergreifenden Ausbruch von Infektionen mit *S. Enteritidis* ST11 bestätigt. In diesem Ausbruch waren in den Jahren von 2018 bis 2020 insgesamt 193 Menschen in acht EU-Ländern und dem Vereinigten Königreich erkrankt (EFSA/ECDC, 2021).

Auch in einer Studie zur systematischen Überprüfung von Risikofaktoren für Salmonellosen des Menschen (Guillier et al., 2021) wurden Eier und Eiprodukte, gemischte Lebensmittel und Fleisch (Schweinefleisch, rotes Fleisch außer Rindfleisch sowie Geflügelfleisch), als die am stärksten mit Salmonellose assoziierten Lebensmittel identifiziert.

3.1.2.2 Campylobacteriose

Die humane Campylobacteriose ist eine Darminfektion mit Bauchschmerzen und wässrigem, gelegentlich blutigem Durchfall und Fieber (Dasti, Tareen, Lugert, Zautner, & Gross, 2010). Verschiedene Autorinnen und Autoren zeigten im Selbstversuch und in einer weiteren Studie mit freiwilligen Probandinnen und Probanden, dass die Infektionsdosis von *C. jejuni* sehr niedrig ist und bei 500 - 800 KBE liegt (Black, Levine, Clements, Hughes, & Blaser, 1988; Robinson, 1981). Der Nachweis von *Campylobacter* ist meldepflichtig (IfSG, § 7 Meldepflichtige Nachweise von Krankheitserregern). In Deutschland werden jährlich rund 60.000 - 70.000 Fälle (80 - 90 Erkrankungen pro 100.000 Einwohner) gemeldet. Damit ist *Campylobacter* aktuell der häufigste bakterielle Auslöser von Darminfektionen und die humane Campylobacteriose die am häufigsten gemeldete bakterielle Erkrankung mit Lebensmittelbezug in Deutschland und der EU (EFSA/ECDC, 2021; RKI, 2018).

Die humane Campylobacteriose kann aber auch zu Autoimmunerkrankungen führen, die mehrere Wochen nach Abklingen der akuten Symptome auftreten. Dabei können Spätfolgen wie Reizdarmsyndrom (in ca. 4 % der Fälle), reaktive Arthritis (akute Entzündung von Gelenken, in ca. 2,9 % der Fälle), aber auch das Guillain-Barré-Syndrom (in ca. 0,07 % der Fälle) (Keithlin, Sargeant, Thomas, & Fazil, 2014) auftreten. Beim Guillain-Barré-Syndrom kommt es zu Lähmungserscheinungen der peripheren Nerven. Die meisten dieser Autoimmunerkrankungen sind reversibel, es können aber auch in seltenen Fällen irreversible Schäden und auch Todesfälle vorkommen. Bei der humanen Campylobacteriose sind alle Verbrauchergruppen betroffen. Besonders häufig kommt die Campylobacteriose bei Kindern unter vier Jahren und bei jungen Erwachsenen im Alter von 20 bis 29 Jahren vor (Schielke, Rosner, & Stark, 2014). Dem RKI wurden im Jahr 2020 fünf Fälle von *Campylobacter*-Enteritis übermittelt, bei denen die Patientinnen und Patienten krankheitsbedingt verstorben waren. Dabei handelte es sich um drei Männer und zwei Frauen im Alter zwischen 78 und 87 Jahren (RKI, 2021b). Im Jahr 2020 wurden dem RKI 46.519 Fälle einer *Campylobacter*-Enteritis gemeldet (RKI, 2021b).

Daten der EFSA zeigen, dass im Jahr 2020 insgesamt 317 Campylobacteriose-Ausbrüche gemeldet wurden mit insgesamt 1.319 Krankheitsfällen, 112 Krankenhausaufenthalten und keinem Todesfall. Elf Ausbrüche wurden mit einer starken und 306 mit einer schwachen Evidenz gemeldet. Die häufigsten Lebensmittel, die für lebensmittelbedingte Campylobacteriose-Ausbrüche mit starker Evidenz verantwortlich gemacht wurden, waren Hähnchenfleisch und Rohmilch (EFSA/ECDC, 2021). Schätzungen zufolge können 50 bis 80 % der Fälle mit teilweise unbekannter Übertragungsweise auf das Huhn als Keim-Reservoir von *Campylobacter* zurückgeführt werden (BfR, 2018b).

Weitere Ursachen einer Infektion mit *Campylobacter* können kontaminierte Oberflächengewässer, Schweine- oder Rindfleisch sein. Auch der Kontakt zu Haustieren kann eine Infektion auslösen. Auch Hühnereier können *Campylobacter* auf den Menschen übertragen, insbesondere, wenn die Eier sichtbar mit Hühnerkot verunreinigt sind (BfR, 2018b).

3.1.3 Expositionsschätzung und -bewertung

3.1.3.1 Vorkommen von Salmonellen in Proben von Konsumeiern

Salmonellen können über zwei verschiedene Kontaminationswege in das Ei gelangen (Khan, McWhorter, Moyle, & Chousalkar, 2021). Einerseits kann das Eiinnere bereits vor der Eiablage, während der Eibildung im Eileiter eines infizierten Huhnes kontaminiert werden (primäre oder vertikale Kontamination) (Bygrave & Gallagher, 1989; Shivaprasad, Timoney, Morales, Lucio, & Baker, 1990). Angaben aus der Literatur zufolge sind nach einer primären Kontamination selten mehr als 100 Salmonellen pro Ei im Eiinneren nachweisbar (Gast & Beard, 1992; Gast & Holt, 2000; Humphrey, Whitehead, Gawler, Henley, & Rowe, 1991). Häufiger wird das Ei während oder nach der Eiablage, z. B. mit dem Kot infizierter Tiere, äußerlich mit Salmonellen kontaminiert (sekundäre oder horizontale Kontamination) (De Reu, Grijspeerdt, Herman, et al., 2006; W. Messens, Grijspeerdt, & Herman, 2005).

Quantitative Daten zur Anzahl der Salmonellen auf der Eioberfläche im Falle einer natürlichen Kontamination sind in der Literatur für den europäischen Markt nicht vorhanden. Bei der Kontamination der Schalen von Konsumeiern mit Salmonellen handelt es sich um sporadische Kontaminationen (Ebel & Schlosser, 2000). Durch die erfolgreichen

Bekämpfungsprogramme für Salmonellen in Legehennenbetrieben in der EU ist eine Keimbelastung auf niedrigem Niveau zu erwarten. Die Anzahl der Salmonellen auf der Eioberfläche im Falle einer natürlichen Kontamination wird deshalb vom BfR, auf Basis der für *Campylobacter* erhobenen Daten, als durchschnittlich unter 10 Keime/cm² geschätzt. Salmonellen sind in der Lage, auf der Eierschale zu überleben. Die Überlebensfähigkeit auf der Schale verlängert sich bei kälterer Umgebungstemperatur, während es bei ungekühlter Lagerung zu einer schnelleren Austrocknung der Schalenoberfläche und somit zum schnelleren Absterben dort befindlicher Salmonellen kommt (W. Messens, Grijspeerdt, & Herman, 2006). Ist das Ei bei der Lagerung Temperaturschwankungen ausgesetzt (z. B. durch Unterbrechung der Kühlkette), so kommt es auf der Schalenoberfläche zu Kondensationen. Dieses feuchte Milieu, das bei Kühlung länger aufrechterhalten wird, erhöht ebenfalls die Penetration von Salmonellen durch die Eierschale (Khan et al., 2021). Wie auch andere Bakterien sind Salmonellen imstande, durch die Poren der Eierschale und der Schalenmembranen in das Eiinnere zu penetrieren (Baker, 1990; Board, 1966; De Reu, Grijspeerdt, Messens, et al., 2006). Bei feuchten Umgebungsbedingungen wird das Penetrationsvermögen in das Eiinnere begünstigt (Chen, H., Anantheswaran, R., Knabel, S., 2002). Das Eiklar ist mit Substanzen ausgestattet, die das Wachstum von Bakterien hemmen. Untersuchungen haben gezeigt (W. Messens, Dubocage, Grijspeerdt, Heyndrickx, & Herman, 2004), dass Salmonellen dennoch in der Lage sind, sich in frischem Eiklar bei einer Temperatur von 20 °C zu vermehren. Weiterhin können Salmonellen im Eiklar über einen längeren Zeitraum überleben, die Dottermembran überwinden und in den nährstoffreichen Eidotter migrieren (Baker, 1990; Braun & Fehlhaber, 1995). Als Folge des natürlichen Alterungsprozesses des Eies nimmt die Aktivität der Hemmsubstanzen im Eiklar ab. Darüber hinaus erhöht sich die Durchlässigkeit der Dottermembran, wodurch Bakterien leichter in das Dotter migrieren und auch Nährstoffe aus dem Dotter in das Eiklar diffundieren können. Die Nährstoffe aus dem Dotter begünstigen zusätzlich die Vermehrungsfähigkeit der Bakterien. Die Zeitdauer, die benötigt wird, die Durchlässigkeit der Dottermembran herabzusetzen, wird als „Yolk-Membrane-Breakdown-Time (YMT)“ bezeichnet und ist temperaturabhängig. Bei einer Lagerung von 20 °C ist die YMT etwa nach 18 Tagen erreicht und die Barrierefunktion der Dottermembran nimmt allmählich ab. Bei einer Kühlung wird die YMT erst zu einem späteren Zeitpunkt erreicht (J. Chen, S. Thesmar, & Kerr, 2005). Unmittelbar nach dem Legen ist das Ei einer natürlichen Kühlung (Körpertemperatur des Huhnes: 40 - 42 °C; kühlere Umgebungstemperatur) ausgesetzt. Dieser Temperaturunterschied bewirkt einen Unterdruck im Ei, der möglicherweise die Penetration von Bakterien durch die Schale begünstigt (Board, 1966; Fromm, 1959). Es wurde festgestellt (Miyamoto et al., 1998), dass die Penetrationsrate durch diesen thermoosmotischen Effekt bis zu drei Stunden nach dem Legen (Lagerung bei Umgebungstemperatur) am höchsten ist. Es wurde außerdem nachgewiesen, dass das Penetrationsvermögen sinkt, wenn das Ei unmittelbar nach dem Legen aktiv gekühlt wird (Miyamoto et al., 1998). Weiterhin hemmt eine Kühlung der Eier möglichst zeitnah nach dem Legen die Vermehrungsfähigkeit bereits vorhandener oder penetrierter Salmonellen im Ei.

Das Vorkommen von Salmonellen in Proben von Konsumeiern in Deutschland wird im Rahmen der planmäßig durchgeführten amtlichen Untersuchungen erfasst. Die Prävalenzen, die vom BfR auf der Grundlage der Mitteilungen der Länder über durchgeführte Untersuchungen von Planproben errechnet wurden, lagen in den Jahren von 2012 bis 2017 zwischen 0,02 und 0,30 % (Konsumeiern Huhn, gesamt) und 0,00 und 0,54 % (Eierschalen), wobei die Probenentnahmen nicht ausschließlich im Einzelhandel, sondern auch beim

Produzenten erfolgten (Tabelle 1). Bei den Anlassproben lagen die Prävalenzen bei den Proben von Eierschalen zwischen 0,00 und 1,89 % (Tabelle 1). Das am häufigsten im Rahmen der Lebensmittelüberwachung nachgewiesene Serovar in Proben von Konsumeiern ist *S. Enteritidis*.

Tabelle 1: Daten zum Vorkommen von Salmonellen in Proben von Konsumeiern und Eierschalen in Deutschland von 2012 bis 2020

Jahr	Probenahme- grund	Matrix	Probenzahl	Anzahl positiv	Positiv (in %)	Serovar (Anzahl)	Referenz
2012	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	8.370	5	0,06 %	<i>S. Enteritidis</i> (5)	(BfR, 2014a)
		Eierschale	831	0	0,00 %	-	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	197	3	1,52 %	<i>S. Enteritidis</i> (3)	
2013	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	5.915	1	0,02 %	<i>S. Enteritidis</i> (1)	(BfR, 2015)
		Eierschale	1.744	1	0,06%	<i>S. Enteritidis</i> (1)	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	144	0	0,00 %	-	
2014	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	4.737	8	0,17 %	<i>S. Enteritidis</i> (3) <i>S. Kiambu</i> (4) <i>S. Indiana</i> (1)	(BfR, 2016)
		Eierschale	1.589	6	0,38 %	<i>S. Enteritidis</i> (1) <i>S. Kiambu</i> (4) <i>S. Indiana</i> (1)	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	794	15	1,89 %	<i>S. Enteritidis</i> (11) <i>S. GRUPPE B</i> (4)	
		Eierschale	794	15	1,89 %	<i>S. Enteritidis</i> (11) <i>S. GRUPPE B</i> (4)	
2015	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	4.098	9	0,22 %	<i>S. Enteritidis</i> (6) <i>S. Indiana</i> (1) k.A. (2)	(BfR, 2018a)
		Eierschale	1.300	7	0,54 %	<i>S. Enteritidis</i> (6) <i>S. Indiana</i> (1)	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	772	1	0,13 %	<i>S. Typhimuri- um</i> (1)	
2016	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	3.728	3	0,08 %	<i>S. Typhimuri- um</i> (1) k.A. (2)	(BfR, 2019)
		Eierschale	1.680	0	0,00 %	-	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	2.034	3	0,15 %	<i>S. Indiana</i> (2)	

							S. sp (1)
2017	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	4.600	14	0,30 %	S. Enteritidis (5) k.A. (9)	(BfR, 2020)
		Eierschale	1.430	0	0,00 %	-	
	Überwachung Anlassproben	Eierschale	1.859	2	0,11 %	S. Enteritidis (1) S. Ordonez (1)	
2020	Zoonosen- Monitoring	Poolproben von Schalen von Konsumeiern	367	0	0	-	(BVL, 2021)
		Schalen von Konsumeiern am Eingang der Packstelle	317	0	0	-	
		Schalen von Konsumeiern am Ausgang der Packstelle	325	0	0	-	

k.a. = keine Angabe

Im Rahmen des Zoonosen-Monitorings wurden Konsumeier in Deutschland im Jahr 2010 bundesweit untersucht. Bei allen untersuchten Poolproben von Konsumeiern war das Eiinnere frei von Salmonellen. Kontaminationen betrafen nur die Eierschalen. Bei Poolproben von Konsumeiern aus dem Einzelhandel waren durchschnittlich 0,7 % der untersuchten Eierschalen *Salmonella*-positiv. Poolproben von Schalen von Konsumeiern aus dem Einzelhandel, die von Legehennen aus Käfighaltung stammten, wiesen zu 0,9 % eine Kontamination mit *Salmonella* spp. auf. Die Eierschalen von Konsumeierpoolproben aus Boden- und Freilandhaltung waren zu 0,7 % bzw. 0,8 % mit Salmonellen belastet. In 0,4 % der Poolproben von Eierschalen von Konsumeiern aus ökologischer Erzeugung waren Salmonellen nachweisbar. Konsumeierpoolproben aus dem Einzelhandel, die aus Deutschland stammten, wiesen eine Kontaminationsrate der Schalen von 0,8 % auf, während Poolproben von Konsumeiern nichtdeutscher Herkunft zu 0,5 % *Salmonella*-positiv waren (BVL, 2012).

Im Jahr 2020 wurden im Rahmen des Zoonosen-Monitorings weder in Proben von (Konsum)-Eierschalen aus Eierpackstellen noch aus dem Einzelhandel Salmonellen nachgewiesen (Tabelle 1) (BVL, 2021).

3.1.3.2 Vorkommen von *Campylobacter* in Proben von Konsumeiern

Eine Kontamination der Eierschalen mit *Campylobacter* erfolgt über fäkale Ausscheidungen von Legehennen. In Deutschland sind Legehennen häufig mit *Campylobacter* besiedelt. So konnten im Jahr 2009 in 41,8 % der Kotproben aus Legehennenbetrieben *Campylobacter* nachgewiesen werden (BVL, 2010). Aus der Literatur ist bekannt, dass die Kolonisation mit *Campylobacter* in natürlich infizierten Legehennen generell länger andauert und stärker ausfällt als die Kolonisation mit Salmonellen (Jones, Anderson, & Guard, 2012; Jones et al., 2016; Rukambile, Sintchenko, Muscatello, Kock, & Alders, 2019).

Es gibt nur wenige experimentelle Daten zur Überlebensfähigkeit von *Campylobacter* auf Eierschalen. Diese bestätigen die relativ geringe Stresstoleranz dieser Bakterien gegenüber Austrocknung (Allen & Griffiths, 2001; Clark & Bueschkens, 1985). Dennoch wurde der Infektionsstamm bei ca. 10 % der geschlüpften gesunden Hühner im Darmtrakt nachgewiesen, nachdem die mit *C. jejuni* infizierten Bruteier kulturell „*Campylobacter*-frei“ waren (Clark & Bueschkens, 1985). Eine vertikale Kontamination ist bei *Campylobacter* nicht nachgewiesen (Sahin, Kobalka, & Zhang, 2003). In den seltenen Fällen, in denen eine Übertragung von der Legehennen auf das schlüpfende Küken erfolgt ist, wird von einer Fäkalkontamination der Schale, der Schalenmembran sowie des Albumins von frisch gelegten befruchteten Eiern und der nachträglichen oralen Aufnahme durch das schlüpfende Küken ausgegangen (Cox et al., 2012). Quantitative Daten zur Anzahl von *Campylobacter* auf Eierschalen im Falle einer natürlichen Kontamination sind in der Literatur kaum vorhanden. Eine Studie des BfR befasste sich mit der Quantifizierung von *Campylobacter* auf Eierschalen. Auf 80 % der Eierschalen wurde *Campylobacter* per Real-time PCR detektiert. Auf Eierschalen mit unsichtbarer und geringer Verschmutzung konnten *Campylobacter* in einer mittleren Konzentration von jeweils 3,31 und 3,61 log₁₀ KbE pro 10 Eier nachgewiesen werden (Stingl, 2021). Eine Teilmenge der Eierschalen wurde nach Abschwemmung in Peptonwasser über 30 Minuten auch mittels einer speziellen Real-time PCR untersucht, die lebende von toten Bakterien unterscheiden kann. Hier konnte in 12 % der Proben von Eierschalen ein Lebendnachweis geführt werden. Der mittlere Wert lag bei 3,51 log₁₀ KbE pro 10 Eier, maximal waren in einer Charge 5,17 log₁₀ KbE pro 10 Eier lebend quantifizierbar. Ausgehend von einer durchschnittlichen Eioberfläche von 70 cm² ergibt dies eine durchschnittliche *Campylobacter*-Kontamination mit ~ 5 Keimen/cm² Eioberfläche, im Maximalfall waren es 211 Keime/cm². Daten zur Keimübertragung durch kurze bzw. längere Kontaktzeiten stehen noch aus.

Im Gegensatz zu Salmonellen sind *C. jejuni* nicht in der Lage, im Eiinneren lange zu überleben oder sich dort zu vermehren (Fonseca et al., 2014; Paula, Fonseca, Silva, & Rossi, 2009). Eine Penetration von *Campylobacter* durch die Eierschale wurde vereinzelt in Studien beobachtet (Allen & Griffiths, 2001; Fonseca et al., 2014). So konnte *C. jejuni* beispielsweise nach Beimpfung über 24 Stunden in mit *Campylobacter* kontaminierter Nährbouillon in 4,2 % von 48 frischen Eiern die Schale penetrieren und auf der Schalenmembran nachgewiesen werden (Allen & Griffiths, 2001). In einer anderen Studie, in der die Eier zur Beimpfung in mit *C. jejuni* kontaminierten Holzspäne gelegt wurden, konnte *C. jejuni* die Schale von 20 % der befruchteten Eier, nicht aber von Konsumeiern penetrieren (Fonseca et al., 2014). Obwohl *Campylobacter* mit einer Häufigkeit von 0,28 - 4 % auf der Schale von Hühnereiern in mehreren Studien detektiert wurden, konnte kein Nachweis des Erregers im Eiinneren geführt werden (Aziz, Bahobail, Hassan, & El-deeb, 2012; Doyle, 1984; Ge et al., 2016; Messelhäusser et al., 2011; Sulonen, Kärenlampi, Holma, & Hänninen, 2007). Lediglich eine iranische Studie gab an, *Campylobacter* bei 2 % im Eiklar, bei 4 % im Eigelb und bei 7 % auf Schalen von insgesamt 100 untersuchten Hühnereiern detektiert zu haben (Jonaidi-Jafari, Khamesipour, Ranjbar, & Kheiri, 2016). Eine Studie aus Japan, bei der in 27,9 % der Proben von nicht pasteurisiertem Flüssig-Vollei und 36 % nicht pasteurisiertem Flüssig-Eigelb *Campylobacter* nachgewiesen wurden, zeigte, dass *Campylobacter* beim industriellen Aufschlagen der Eier häufig von der Schale in den flüssigen Eiinhalt gelangen können (Sato & Sashihara, 2010).

Es gibt nur wenige Daten zur Prävalenz von *Campylobacter* in Proben von Konsumeiern in Deutschland. In einer Studie wurden 271 Poolproben von je 10 Hühnereiern auf das

Vorkommen von *Campylobacter* untersucht. *Campylobacter* wurde in 4,1 % der Proben von Eierschalen nachgewiesen (Messelhäuser et al., 2011). Trotz geringer Gesamtprobenzahl wurden in den Jahren 2012 bis 2017 regelmäßig *C. jejuni* und *C. coli* auf Eierschalen oder ganzen Konsumeiern nachgewiesen (Tabelle 2). Im Jahr 2014 wurden in Deutschland im Rahmen des Zoonosen-Monitorings Schalen von Hühnereiern auf das Vorkommen von *Campylobacter* untersucht und eine Prävalenz von 0,4 % ermittelt (BfR, 2016). Die Prävalenzen, die vom BfR auf der Grundlage der Mitteilungen der Länder über durchgeführte Untersuchungen von Planproben errechnet wurden, lagen zwischen 0,99 und 10,55 % (Tabelle 2), wobei die Probenentnahmen nicht ausschließlich im Einzelhandel, sondern auch beim Produzenten erfolgten.

Tabelle 2: Daten zum Vorkommen von *Campylobacter* in Proben von Konsumeiern und Eierschalen in Deutschland (2012 - 2020)

Jahr	Probenahme- grund	Matrix	Probenzahl	Anzahl positiv	Positiv (in %)	Stamm	Referenz
2012	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	101	1	0,99 %	<i>C. jejuni</i> (1)	(BfR, 2014a)
2013	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	39	2	5,13 %	<i>C. jejuni</i> (1)	(BfR, 2015)
2014	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	265	6	2,26 %	<i>C. coli</i> (1) <i>C. jejuni</i> (2)	(BfR, 2016)
	Zoonosen- Monitoring	Poolproben von Schalen von Konsum- eiern	471	2	0,40 %	k.A.	
2015	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	148	12	8,11 %	<i>C. coli</i> (2) <i>C. jejuni</i> (3)	(BfR, 2018a)
2016	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	218	23	10,55 %	<i>C. coli</i> (9) <i>C. jejuni</i> (4)	(BfR, 2019)
2017	Überwachung	Konsumeier Huhn, gesamt	329	27	8,21 %	<i>C. coli</i> (9) <i>C. jejuni</i> (5)	(BfR, 2020)
2020	Zoonosen- Monitoring	Poolproben von Schalen von Konsum- eiern	364	2	0,5 %	<i>C. jejuni</i> (1)	(BVL, 2021)
		Schalen von Konsumeiern am Eingang der Packstelle	313	10	3,2 %	<i>C. coli</i> (4) <i>C. jejuni</i> (5)	
		Schalen von Konsumeiern am Ausgang der Packstelle	320	4	1,3 %	<i>C. coli</i> (1) <i>C. jejuni</i> (1)	

k.a. = keine Angabe

3.1.3.3 Dekontamination von Konsumeiern mittels UV-C-Behandlung

Als UV-C-Strahlen werden elektromagnetische Wellen im Wellenlängenbereich von 100 bis 280 Nanometer (nm) bezeichnet. Die Inaktivierung der Bakterienzellen durch UV-Strahlen basiert auf Beschädigung von DNA und RNA. Die bakterielle DNA-Transkription und -Replikation wird aufgrund von DNA-Läsionen verhindert. Die Bildung von Pyrimidin-Dimeren und anderen Photoprodukten wird aufgrund der UV-Behandlung verstärkt (Rastogi, Richa, Kumar, Tyagi, & Sinha, 2010).

Jedoch zeigen sich große Unterschiede zwischen Bakteriengattungen hinsichtlich ihrer Resistenz gegenüber der UV-C-Behandlung. Weiterhin tragen verschiedene Faktoren, wie der physiologische Status der Bakterienzellen und Stammunterschiede, zu Resistenzunterschieden gegenüber UV-Licht bei (Hijnen, Beerendonk, & Medema, 2006). Limitierende Faktoren sind auch Verschmutzungen (Verschattungsphänomene) und die geringe Penetrationstiefe der UV-Behandlung. Diese liegt im Mikrometerbereich, wobei sie stark von der zu behandelnden Matrix abhängig ist (Geveke, Boyd, & Zhang, 2011).

Untersuchungen zeigten, dass durch eine UV-C-Behandlung von Eiern, die keine sichtbaren Verschmutzungen aufweisen, die mikrobielle Belastung der Schale um mindestens eine Log-Stufe reduziert werden kann (Coufal, Chavez, Knape, & Carey, 2003; De Reu, Grijspeerdt, Herman, et al., 2006). Bei Eiern mit sichtbaren fäkalen Verschmutzungen hingegen konnte keine deutliche Verringerung der Keimzahl festgestellt werden (De Reu, Grijspeerdt, Herman, et al., 2006). Mehrere experimentelle Studien zur Wirkung der UV-C-Behandlung bei Eiern liegen vor. Reduktionsraten von bis zu 3 \log_{10} KbE/Ei für die Gesamtkeimzahl, 4 \log_{10} KbE/Ei für *Salmonella* spp. und 4 - 5 \log_{10} KbE/Ei für *E. coli* konnten dabei erreicht werden (Chavez, Knape, Coufal, & Carey, 2002; Coufal et al., 2003; De Reu, Grijspeerdt, Herman, et al., 2006; Wells, Coufal, Parker, & McDaniel, 2010). Durch Rotation der Eier während der UV-C-Behandlung konnte die bakterizide Wirkung erhöht werden, indem es zur Verringerung des sogenannten Verschattungseffektes kommt (Kuo, Ricke, & Carey, 1997).

3.1.3.4 Ergebnisse des UVegg-Projektes zur UV-C-LED-Behandlung von Konsumeiern

Das vom BMEL geförderte Projekt „Einsatz von UV-C/UV-C-LED-Strahlung zur Reduktion von Mikroorganismen auf Eiern“ (UVegg) (2018 – 2021) diente dem Nachweis der Effizienz der Reduktion von (zoonotischen) Mikroorganismen und der Unbedenklichkeit einer Behandlung von Konsumeiern mittels UV-C-LED-Strahlung.

In unterschiedlichen Versuchsansätzen wurden künstlich kontaminierte Konsumeier mit UV-C-LED-Strahlung (Intensität: $\sim 2,4$ mW/cm², Wellenlängenbereich: 280 nm) behandelt. Die Rollgeschwindigkeit der Konsumeier betrug 1,6 Umdrehungen pro Sekunde, die UV-C-Exposition 5 Sekunden und der Abstand zur UV-C-LED betrug 5 cm. Es wurden optisch saubere Konsumeier der Größe M bis maximal 10 Tage vor Ablauf des Mindesthaltbarkeitsdatums verwendet.

Die experimentelle Kontamination der Eioberfläche erfolgte mit definierten Bakteriensuspensionen (*S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*) in drei unterschiedlichen Wiederfindungsstufen (100, 10.000 und 1.000.000 KbE/cm²), welche jeweils zusätzlich keine (nur Phosphatgepufferte Salzlösung - PBS), eine geringe (3 Gramm (g) bovines Serumalbumin (BSA)/Liter) oder eine hohe organische Belastung (10 g BSA/L und 10 g Hefeextrakt/L) aufwiesen. Aufgrund hoher methodischer Verluste war eine

Versuchsdurchführung für *C. jejuni* nur mit einer bakteriellen Kontamination von 100 KbE/cm² möglich.

Im Allgemeinen konnte in dem Projekt mittels UV-C-LED-Behandlung die Anzahl der künstlich aufgebrachtten Bakterien auf Eioberflächen reduziert werden, allerdings abhängig von dem Verschmutzungsgrad und der bakteriellen Kontaminationsstufe.

Mittels UV-C-LED konnten *S. Enteritidis* (19-SA00302) und *S. Typhimurium* (18-SA01629) bei mittlerer bakterieller Kontamination (10.000 KbE/cm²) und bei einer geringen organischen Belastung auf der Eioberfläche um bis zu 1,32 log₁₀ KbE/cm² bzw. 1,42 log₁₀ KbE/cm² reduziert werden. Bei hoher bakterieller Kontamination (1.000.000 KbE/cm²) und einer hohen organischen Belastung wurden geringere Reduktionsraten erzielt (0,57 log₁₀ KbE/cm² bei *S. Enteritidis* und 0,34 log₁₀ KbE/cm² bei *S. Typhimurium*). Bei einer geringen bakteriellen Kontamination (100 KbE/cm²) ohne zusätzliche organische Belastung konnten nach einer Behandlung mittels UV-C-LED bei der Hälfte der untersuchten Hühnereier keine Salmonellen mehr nachgewiesen werden (methodische Nachweisgrenze: 5 KbE/cm²).

Der Einfluss einer UV-C-LED-Behandlung der Konsumeier auf die bakterielle Reduktion von *C. jejuni* (DSM4688) konnte aufgrund hoher methodischer Verluste ausschließlich bei einer geringen bakteriellen Kontamination (100 KbE/cm²) geprüft werden. Mittels UV-C-LED konnten die höchsten Reduktionen von bis zu 1,69 log₁₀ KbE/cm² bei einer geringen organischen Belastung erzielt werden. Generell trug der Einsatz einer hohen organischen Belastung zu deutlich reduzierten Reduktionsraten von 0,61 log₁₀ KbE/cm² bei. Beim Fehlen einer zusätzlichen organischen Belastung konnte nach einer Behandlung mittels UV-C-LED bei der Hälfte der untersuchten Hühnereier kein *C. jejuni* mehr nachgewiesen werden (methodische Nachweisgrenze: 5 KbE/cm²).

Der Einsatz der UV-C-LED-Paneele wurde im UVegg-Projekt auch in der Praxis untersucht. Für die Ermittlung der Reduktionsraten relevanter Mikroorganismen wurden an insgesamt fünf Versuchstagen je 35 Konsumeier vom Transportband direkt vor und direkt nach der Behandlung mit der UV-C-LED-Anlage entnommen. Allerdings betrug hier die Intensität der UV-C-LED 4,5 mW/cm² und die Probeentnahmen vor und nach der UV-C-Behandlung erfolgten an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten. Im Labor wurden die Oberflächen der Konsumeier auf ihre natürliche Kontamination mit verdächtigen Enterokokken, verdächtigen *Staphylococcus aureus* und verdächtigen *Escherichia coli* untersucht. Außerdem wurden die aeroben mesophilen Gesamtkeimzahlen der Eierschalen bestimmt. Die Behandlungen mittels UV-C-LED-Paneele ergaben für die natürliche bakterielle Kontamination der Konsumeier Reduktionen von etwa einer Log-Stufe. Im Gegensatz zu den Laborversuchen mit Salmonellen und *Campylobacter* konnten in der Praxis geringere Reduktionen erzielt werden. Die natürliche bakterielle und organische Belastung der Konsumeier könnte dazu führen, dass einzelne Erregergruppen vor der UV-C-Einwirkung besser geschützt sind. Verschattungs-/Absorptionseffekte durch Belastungssubstanzen sowie erhöhte bakterielle Kontaminationen führten auch in den Laborexperimenten zu signifikant niedrigeren Reduktionsraten von maximal einer Log-Stufe/cm². Zudem besteht die natürliche bakterielle Belastung von Konsumeiern, welche zumindest teilweise auch in der aeroben mesophilen Gesamtkeimzahl erfasst wird, unter anderem aus Hefen, sowie sporenbildenden Bakterien der Gattung *Bacillaceae* und *Clostridiaceae* (Olsen et al., 2017), die resistenter gegenüber einer UV-C-Behandlung sein können als die in den Laborexperimenten getesteten Bakterien. Zusätzlich konnte eine rasche Rekontamination der Konsumeier nach der UV-C-Behandlung

im Produktionsbetrieb ermittelt werden. Dies ist auf eine hohe Partikelbelastung in der Luft sowie auf Kontakt mit den Transportbändern zurückzuführen.

3.1.3.5 Verzehr von Hühnereiern in Deutschland

In Deutschland wurden im Jahr 2020 rund 20 Milliarden Eier konsumiert, wovon rund 70 % der Eier in Deutschland selbst produziert wurden (BMEL, 2021).

Gemäß einer im Jahr 2008 vom Max Rubner-Institut (MRI) veröffentlichten nationalen Verzehrsstudie, verzehrten in Deutschland Männer durchschnittlich 97 und Frauen 73 Eier pro Jahr (ohne Gerichte auf Basis von Eiern). Hinzu kommen jeweils 5 g Ei pro Tag in Gerichten mit Hauptzutat von Eiern, wie z. B. in Eiersalaten oder als Eierpfannkuchen. Die Verzehrsmenge könnte möglicherweise niedriger als in anderen Verzehrerhebungen sein, da die Gerichte, in denen Eier nicht die Hauptzutat darstellen, nicht eingerechnet wurden (MRI, 2008).

Rohe Eier bzw. Lebensmittel mit rohen Eiern gehören zu den eher selten verzehrten Lebensmitteln und werden über alle Altersgruppen 1 - 2 Mal im Vierteljahr (Kinder/Jugendliche/Erwachsene) oder seltener bzw. weniger als einmal im Monat (Säuglinge/Kleinkinder) verzehrt (Golsong, Nowak, Schweter, & Lindtner, 2017; Mensink et al., 2007).

3.1.4 Risikocharakterisierung

Die Daten der amtlichen Lebensmittelüberwachung über Nachweise von Salmonellen und *Campylobacter* in Proben von Hühnereiern zeigen, dass in Deutschland auf Schalen von Konsumeiern regelmäßig mit einem Vorkommen von *Campylobacter* und sehr selten auch von Salmonellen gerechnet werden muss. Beim Aufschlagen der Eier können diese Erreger in die Speisen gelangen. Aufgrund der sehr niedrigen Infektionsdosis beim Menschen kann dies eine Campylobacteriose auslösen, sofern die Speisen vor dem Verzehr nicht ausreichend erhitzt werden (mindestens 2 Minuten auf 70 °C an allen Stellen des Lebensmittels). Für eine Infektion mit Salmonellen ist in der Regel zunächst eine Vermehrung der Erreger im Lebensmittel durch unzureichende Kühlung erforderlich. Salmonellen können aber auch von der Schale in das Innere der Hühnereier eindringen und sich unter Umständen im Eigelb vermehren, insbesondere wenn die Konsumeier eine längere Zeit ungekühlt gelagert werden.

Beide Krankheitserreger können außerdem über eine Kreuzkontamination in andere verzehrfertige Lebensmittel gelangen. Ein weiterer denkbarer Übertragungsweg ist das Auspusten kontaminierter Eier mit dem Mund.

Infektionen mit Salmonellen und *Campylobacter* können mittelschwere Magen-Darm-Erkrankungen verursachen. Kinder unter fünf Jahren sowie Menschen mit hohem Alter oder Vorerkrankungen sind besonders gefährdet, an einer Salmonellose zu erkranken. Die Campylobacteriose betrifft vor allem Kinder unter fünf Jahren sowie junge Erwachsene, wobei es in Einzelfällen zu dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann. Beide Erkrankungen können sehr selten auch tödlich verlaufen.

Um das Risiko einer Lebensmittelinfektion zu minimieren, müssen Hühnereier der Güteklasse A nach Verordnung (EG) Nr. 589/2008 der Kommission zu Vermarktungsnormen von Eiern eine saubere, unbeschädigte Schale und Kutikula aufweisen (Artikel 2, Absatz 1a). Bei sichtbarer Verschmutzung gehören die Eier der Güteklasse B an und gelangen in

Verarbeitungsprozesse mit einem Erhitzungsschritt. Trotz dieser Regelungen werden aber auch im Einzelhandel vereinzelt Konsumeier mit gering- bis mittelgradiger Kotverschmutzung, manchmal auch mit verklebten Federresten gefunden.

Eine bereits praktizierte Maßnahme der Risikominimierung ist die Behandlung von Konsumeiern mit UV-C. Deshalb wird anhand von zwei Szenarien nachfolgend der Einfluss einer UV-C-LED-Behandlung auf die Keimreduktion von mit Salmonellen bzw. *Campylobacter* kontaminierten Hühnereiern abgeschätzt.

Szenario 1: Konsumeier sind mit *Campylobacter* kontaminiert und werden 5 Sekunden lang mittels UV-C-LED behandelt.

In Deutschland werden *Campylobacter* regelmäßig auf Konsumeiern nachgewiesen. Werden optisch saubere Konsumeier mittels UV-C-LED behandelt, ist eine Reduktion der auf der Eierschale vorhandenen *Campylobacter*-Anzahl um etwa 1,5 Log-Stufen/cm² zu erwarten. Nach dem Ergebnis von eigenen Laboruntersuchungen kann bei mit *Campylobacter* kontaminierten Eierschalen mit unsichtbarer oder geringer Verschmutzung von Erregermengen unter 10 KbE/cm² ausgegangen werden. Damit eignet sich die Behandlung mittels UV-C-LED, die Wahrscheinlichkeit einer Erregerübertragung und damit auch von gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Menschen zu reduzieren. Voraussetzung ist allerdings, dass keine Rekontamination der behandelten Eier erfolgt. Bei höheren Belastungen der Eierschalen mit *Campylobacter* oder mit sonstigem organischen Material hätte die Behandlung mittels UV-C-LED einen deutlich geringeren bis gar keinen Effekt auf die Wahrscheinlichkeit einer Erregerübertragung sowie von gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Menschen.

Szenario 2: Konsumeier sind mit Salmonellen kontaminiert und werden 5 Sekunden lang mittels UV-C-LED behandelt.

Durch die erfolgreiche Bekämpfung von Salmonellen in Legehennenbetrieben werden in Deutschland auf Konsumeiern nur noch selten Salmonellen nachgewiesen. Werden optisch saubere Konsumeier mittels UV-C-LED behandelt, ist eine Reduktion der auf der Eierschale vorhandenen Salmonellen-Anzahl um etwa eine Log-Stufe/cm² zu erwarten. Unter der Annahme, dass bei mit Salmonellen kontaminierten Eierschalen mit unsichtbarer oder geringer Verschmutzung ebenfalls nur geringe Erregermengen (weniger als 10 KbE/cm²) vorhanden sind, eignet sich die Behandlung mittels UV-C-LED, die Wahrscheinlichkeit einer *Salmonella*-Übertragung und damit auch von gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Menschen zu reduzieren. Voraussetzung ist allerdings, dass keine Rekontamination der behandelten Eier erfolgt. Bei höheren Belastungen der Eierschalen mit Salmonellen oder mit organischem Material hätte die Behandlung mittels UV-C-LED voraussichtlich kaum einen Effekt, weil Salmonellen weiterhin in das Eigelb eindringen oder beim Aufschlagen der Konsumeier in die Speisen gelangen und sich dort vermehren könnten.

3.1.4.1 Bewertung der Qualität der Daten, weiterer Forschungsbedarf

Die Qualität der vorhandenen Daten und Informationen bezüglich der Eigenschaften von Salmonellen und *Campylobacter*, deren Übertragung auf den Menschen sowie die von diesen Erregern ausgelösten Erkrankungen ist als zufriedenstellend einzuschätzen. Ebenfalls zufriedenstellend ist die Datenlage bezüglich des Vorkommens von Salmonellen auf Hühnereiern. Die Datenlage zur Anzahl von Salmonellen auf Eierschalen im Falle einer natürlichen Kontamination ist nicht zufriedenstellend. Um die Wahrscheinlichkeit einer

Erregerübertragung und damit auch einer gesundheitlichen Beeinträchtigung des Menschen besser abschätzen zu können, besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Es gibt nur begrenzte Daten zur Prävalenz von lebenden *Campylobacter* auf Hühnereiern in Deutschland. *Campylobacter*, insbesondere nach Stresseinwirkung, wie z. B. durch Austrocknen, Sauerstoffstress und suboptimale Temperaturen, benötigen aufwendige Laborbedingungen, um sicher quantitativ nachgewiesen zu werden. Alternativ können sie über eine lebend/tot unterscheidende Real-time PCR quantifiziert werden. Weitere Forschungsarbeiten zur verbesserten Sensitivität der kultivierungsunabhängigen Detektion von lebenden *Campylobacter* im Kontext von toten Zellen und eine Anwendung dieser Methoden in Kombination mit der klassischen amtlichen Untersuchung von Hühnereiern auf das Vorkommen von *Campylobacter* (qualitative und quantitative Analysen) sind notwendig, um die Datenlage zu verbessern.

Die Datenqualität zum Nachweis der Effizienz der Reduktion von zoonotischen Mikroorganismen mittels UV-C-LED wird als zufriedenstellend beurteilt. Allerdings bezogen sich die aus dem Projekt „UVegg“ generierten Daten hauptsächlich auf die Behandlung von Konsumeiern mittels UV-C-LED mit einer Wellenlänge von 280 nm, einer Intensität: von $\sim 2,4$ mW/cm², einer Entfernung zum UV-C-LED von 5 cm sowie einer Expositionszeit von 5 Sekunden. Es besteht weiterer Forschungsbedarf um zu klären, welchen Effekt die Expositionszeit, die Entfernung zur UV-C Quelle und die unterschiedlichen Intensitäten und Wellenlängen der UV-C-LED Paneele auf die Reduktion von zoonotischen Mikroorganismen auf Konsumeiern haben.

3.2 Handlungsrahmen, Empfehlung von Maßnahmen

Als Voraussetzung für die Anwendung von UV-C-LED-Verfahren zur Behandlung von Konsumeiern sollten Lebensmittelunternehmen aus Sicht des BfR unter anderem die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Nachweis über die Wirksamkeit der eingesetzten Strahlung,
- Dokumentation des Verfahrensablaufs der Dekontamination,
- Implementierung von Maßnahmen, die eine nachteilige Beeinflussung der Eier im Fall von technischen Störungen bei der UV-C-Behandlung verhindern.

Das von LED-Paneelen generierte UV-C-Licht (UV-C-LED) eignet sich bei einer Expositionszeit von 5 Sekunden zur geringfügigen Reduktion der bakteriellen Kontamination von Hühnereiern. Eine vollständige Eliminierung der Erreger war unter experimentellen Bedingungen nur bei geringen Keimzahlen und ohne organische Belastungen möglich. Es ist daher zu erwarten, dass bei höheren Keimzahlen oder sichtbar verschmutzten Hühnereiern, die Krankheitserreger durch die UV-C-LED-Behandlung unter den im Projekt gegebenen Bedingungen nicht zufriedenstellend reduziert werden können. Die Prüfung einer LED-Anwendung mit höherer Energiedichte und/oder längerer Exposition sollte daher erwogen werden.

Um eine Rekontamination der Konsumeier nach erfolgter UV-C-LED-Behandlung zu vermeiden, ist eine geeignete Platzierung der UV-C-LED-Paneele in einer Eierpackstelle erforderlich (möglichst am Ende des Sortierprozesses).

Das Risiko einer Übertragung von Krankheitserregern von Hühnereiern auf den Menschen lässt sich auch durch folgende Maßnahmen reduzieren, die den Produzenten, aber auch Verbraucherinnen und Verbraucher adressieren:

- Bei der Produktion und Verpackung von Hühnereiern sollte eine fäkale Verunreinigung der Eierschalen unbedingt vermieden werden.
- Rohe Hühnereier sollten immer separat von anderen Lebensmitteln gelagert und verarbeitet werden.
- Nach Kontakt mit rohen Hühnereiern sollten Küchenutensilien immer gründlich mit heißem Wasser und Spülmittel gereinigt werden.
- Nach dem Berühren von Hühnereiern sollten die Hände gründlich gewaschen werden.
- Für die Herstellung von Roheispeisen sollten ausschließlich saubere Hühnereier verwendet und besonders vorsichtig aufgeschlagen werden, damit der Eiinhalt möglichst wenig Kontakt mit der Eierschale bekommt.
- Zum Trennen von Eiklar und Eidotter sollten handelsübliche Eidottertrenner zum Einsatz kommen.
- Durch Erhitzen der unter Verwendung von Hühnereiern hergestellten Speisen lassen sich Krankheitserreger abtöten. Deshalb sollten insbesondere Personen, deren Abwehrkräfte beeinträchtigt oder noch nicht vollständig ausgebildet sind (vor allem Kleinkinder, kranke und sehr alte Menschen), Hühnereier zum Schutz vor Lebensmittelinfektionen nur nach vollständiger Durcherhitzung verzehren (wenn Eiklar und Eigelb fest sind).
- Wer das Risiko, an einer Lebensmittelinfektion zu erkranken, minimieren möchte, sollte auf das Auspusten von rohen Hühnereiern mit dem Mund verzichten oder eine Ei-Ausblashilfe verwenden.
- Insbesondere Kinder sollten beim Backen rohen Teig oder Eischnee nicht essen, und auch nicht die Finger oder verwendete Gerätschaften ablecken.

3.3 weitere Aspekte

Die im Projekt UVegg gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die Behandlung von Konsumeiern mittels UV-C-LED zu einer geringfügigen Reduktion vorhandener Bakterien auf den Eierschalen führt. Dieser Effekt konnte nicht nur für Salmonellen und *Campylobacter* gezeigt werden, sondern auch für die im Forschungsprojekt eingesetzten anderen Bakterien (*Enterococcus faecium*, Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* oder ESBL-bildende *Escherichia coli*).

Enterokokken, insbesondere *Enterococcus (E.) faecium* und *E. faecalis*, sind natürliche Besiedler des menschlichen und tierischen Darms (Fisher & Phillips, 2009). Sie besitzen eine Vielzahl von natürlichen und erworbenen Resistenzdeterminanten und werden deshalb als Indikatorkeime für das Vorkommen von Antibiotika-Resistenzen bei bestimmten Populationen herangezogen (BfR, 2003). Enterokokken kommen in Hühnerställen nahezu ubiquitär vor. In einer Studie wurden *Enterococcus spp.* in mehr als 96 % der Kloaken deutscher Legehennen und bei 53 % der untersuchten Eier auf den Schalen nachgewiesen. Von den isolierten *E. faecalis* wiesen 36 % der Isolate Resistenzen gegenüber mehr als einem Antibiotikum auf (Schwaiger et al., 2010).

Die beiden Spezies *E. faecium* und *E. faecalis* sind auch am häufigsten für Infektionen des Menschen mit Enterokokken verantwortlich. Von besonderer Bedeutung sind Vancomycin-

resistente Enterokokken (VRE), welche einen stetig steigenden Anteil an den nosokomialen Infektionen (RKI, 2021a) ausmachen.

Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) sind resistent gegen bestimmte Antibiotika, wie z. B. Penicilline und Cephalosporine (BfR, 2014b). Sie kommen als Besiedler der Haut und Schleimhäute von Menschen und Tieren vor, können bei immungeschwächten Personen aber auch schwerwiegende Infektionen und eine Septikämie hervorrufen (BfR, 2009).

Die Abkürzung ESBL steht für Extended-Spectrum-Betalaktamasen, d. h. diese Enzyme können nicht nur Penicilline, sondern auch Cephalosporine der 3. und 4. Generation zerstören (BfR, 2011). Damit sind die Bakterien, die diese Enzyme produzieren, gegen diese Antibiotika resistent. In den meisten Fällen verläuft eine Besiedlung des Menschen mit ESBL-bildenden *E. coli* symptomlos, da die meisten dieser Bakterien harmlose Darmbewohner sind. Es gibt unter den ESBL-bildenden *E. coli* aber auch solche, die beim Menschen Erkrankungen verursachen können, z. B. die enterohämorrhagischen *E. coli* (EHEC). Außerdem sind die Gene, welche die ESBL-Eigenschaft vermitteln, oft auf mobilen genetischen Elementen angesiedelt, so dass sie leicht zwischen verschiedenen Bakterienarten übertragen werden können und damit die Resistenzen weiterverbreiten.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zu Lebensmittelinfektionen

Verbrauchertipps zum Schutz vor Lebensmittelinfektionen im Privathaushalt
https://www.bfr.bund.de/cm/350/verbrauchertipps_schutz_vor_lebensmittelinfektionen_im_privathaushalt.pdf

4 Referenzen

Ahmed, M. F., Schulz, J., & Hartung, J. (2013). Survival of *Campylobacter jejuni* in naturally and artificially contaminated laying hen feces. *Poult Sci*, *92*(2), 364-369.
doi:10.3382/ps.2012-02496

Allen, K. J., & Griffiths, M. W. (2001). Use of luminescent *Campylobacter jejuni* ATCC 33291 to assess eggshell colonization and penetration in fresh and retail eggs. *J Food Prot*, *64*(12), 2058-2062. doi:10.4315/0362-028x-64.12.2058

Aziz, A., Bahobail, S., Hassan, S., & El-deeb, B. (2012). Microbial quality and content aflatoxins of commercially available eggs in Taif, Saudi Arabia. *African journal of microbiology research*, *6*. doi:10.5897/AJMR12.229

Baffone, W., Casaroli, A., Citterio, B., Pierfelici, L., Campana, R., Vittoria, E., . . . Donelli, G. (2006). *Campylobacter jejuni* loss of culturability in aqueous microcosms and ability to resuscitate in a mouse model. *Int J Food Microbiol*, *107*(1), 83-91.
doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2005.08.015

Baker, R. C. (1990). Survival of *Salmonella enteritidis* on and in shelled eggs, liquid eggs and cooked egg products. *Dairy, food and environmental sanitation*, 10, 273-275.

BfR. (2003). Methoden zur Identifizierung und Isolierung von Enterokokken und deren Resistenzbestimmung. Teilprojekt "Enterokokken" im Forschungsvorhaben des Fachbereiches 3 "Hygiene der Lebensmittel und Bedarfsgegenstände" des BfR, gefördert vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL). Förderzeitraum: 01. Mai 2000 bis 30. April 2003.

BfR. (2009). Menschen können sich über den Kontakt mit Nutztieren mit Methicillinresistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) infizieren. Stellungnahme Nr. 014/2009 des BfR vom 15. März 2009.

BfR. (2011). ESBL-bildende Bakterien in Lebensmitteln und deren Übertragbarkeit auf den Menschen. Stellungnahme Nr. 002/2012 des BfR vom 5. Dezember 2011.

BfR. (2014a). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2012, BfR Wissenschaft 02/2014, ISBN: 3-943963-14-4.

BfR. (2014b). Fragen und Antworten zu Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA). Aktualisierte FAQ vom 18. November 2014.

BfR. (2015). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2013, BfR Wissenschaft 02/2015, ISBN: 978-3-943963-27-4.

BfR. (2016). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2014, BfR Wissenschaft 06/2016, ISBN: 978-3-943963-47-2.

BfR. (2018a). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2015, BfR Wissenschaft 01/2018, ISBN: 978-3-943963-82-3.

BfR. (2018b). Hygiene fürs Hühnerei - Schutz vor *Campylobacter*. Stellungnahme Nr. 011/2018 des BfR vom 11. Mai 2018. doi:10.17590/20180511-093846-0

BfR. (2019). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2016, BfR Wissenschaft 02/2019, ISBN: 978-3-943963-94-6.

BfR. (2020). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2017, BfR Wissenschaft 05/2020, ISBN: 978-3-948484-27-9.

Black, R. E., Levine, M. M., Clements, M. L., Hughes, T. P., & Blaser, M. J. (1988). Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans. *J Infect Dis*, 157(3), 472-479. doi:10.1093/infdis/157.3.472

BMEL. (2021). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Referat 723. Kennzahlen des deutschen Eiermarktes. Stand: 12.03.2021. .

Board, R. G. (1966). Review article: the course of microbial infection of the hen's egg. *J Appl Bacteriol*, 29(2), 319-341. doi:10.1111/j.1365-2672.1966.tb03482.x

Bovill, R. A., & Mackey, B. M. (1997). Resuscitation of 'non-culturable' cells from aged cultures of *Campylobacter jejuni*. *Microbiology (Reading)*, 143 (Pt 5), 1575-1581. doi:10.1099/00221287-143-5-1575

Braun, P., & Fehlhaber, K. (1995). Migration of *Salmonella enteritidis* from the albumen into the egg yolk. *Int J Food Microbiol*, 25(1), 95-99. doi:10.1016/0168-1605(94)00081-g

Bui, X. T., Wolff, A., Madsen, M., & Bang, D. D. (2012). Reverse transcriptase real-time PCR for detection and quantification of viable *Campylobacter jejuni* directly from poultry faecal samples. *Res Microbiol*, 163(1), 64-72. doi:10.1016/j.resmic.2011.10.007

BVL. (2010). Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2009, Zoonosen-Monitoring, ISBN 978-3-0348-0027-3 (Elektronische Version).

BVL. (2012). Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2010. Zoonosen-Monitoring. ISBN 978-3-0348-0385-4 (Elektronische Version).

BVL. (2021). BVL-Report · 16.1 Berichte zur Lebensmittelsicherheit, Zoonosen-Monitoring 2020.

Bygrave, A. C., & Gallagher, J. (1989). Transmission of *Salmonella enteritidis* in poultry. *Vet Rec*, 124(21), 571. doi:10.1136/vr.124.21.571-c

Cappelier, J. M., Minet, J., Magras, C., Colwell, R. R., & Federighi, M. (1999). Recovery in embryonated eggs of viable but nonculturable *Campylobacter jejuni* cells and maintenance of ability to adhere to HeLa cells after resuscitation. *Appl Environ Microbiol*, 65(11), 5154-5157. doi:10.1128/aem.65.11.5154-5157.1999

Chavez, C., Knape, K. D., Coufal, C. D., & Carey, J. B. (2002). Reduction of eggshell aerobic plate counts by ultraviolet irradiation. *Poult Sci*, 81(8), 1132-1135. doi:10.1093/ps/81.8.1132

Chen, H., Anantheswaran, R., Knabel, S. . (2002). Effect of rapid cooling on the growth and penetration of *Salmonella enteritidis* into egg contents. *Journal of food safety*, 22(4), 255-271. Retrieved from <https://eurekamag.com/research/003/733/003733526.php>

Chen, J., Shallo Thesmar, H., & Kerr, W. L. (2005). Outgrowth of *Salmonellae* and the physical property of albumen and vitelline membrane as influenced by egg storage conditions. *J Food Prot*, 68(12), 2553-2558. doi:10.4315/0362-028x-68.12.2553

Clark, A. G., & Bueschkens, D. H. (1985). Laboratory infection of chicken eggs with *Campylobacter jejuni* by using temperature or pressure differentials. *Appl Environ Microbiol*, 49(6), 1467-1471. doi:10.1128/aem.49.6.1467-1471.1985

Coufal, C. D., Chavez, C., Knape, K. D., & Carey, J. B. (2003). Evaluation of a method of ultraviolet light sanitation of broiler hatching eggs. *Poult Sci*, 82(5), 754-759. doi:10.1093/ps/82.5.754

Cox, N. A., Richardson, L. J., Maurer, J. J., Berrang, M. E., Fedorka-Cray, P. J., Buhr, R. J., . . . Doyle, M. P. (2012). Evidence for horizontal and vertical transmission in *Campylobacter* passage from hen to her progeny. *J Food Prot*, 75(10), 1896-1902. doi:10.4315/0362-028.11-322

Dasti, J. I., Tareen, A. M., Lugert, R., Zautner, A. E., & Gross, U. (2010). *Campylobacter jejuni*: a brief overview on pathogenicity-associated factors and disease-mediating mechanisms. *Int J Med Microbiol*, 300(4), 205-211. doi:10.1016/j.ijmm.2009.07.002

- De Reu, K., Grijspeerdt, K., Herman, L., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Debevere, J., . . . Bolder, N. M. (2006). The effect of a commercial UV disinfection system on the bacterial load of shell eggs. *Lett Appl Microbiol*, *42*(2), 144-148. doi:10.1111/j.1472-765X.2005.01825.x
- De Reu, K., Grijspeerdt, K., Messens, W., Heyndrickx, M., Uyttendaele, M., Debevere, J., & Herman, L. (2006). Eggshell factors influencing eggshell penetration and whole egg contamination by different bacteria, including *Salmonella enteritidis*. *Int J Food Microbiol*, *112*(3), 253-260. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.011
- Doyle, M. P. (1984). Association of *Campylobacter jejuni* with laying hens and eggs. *Appl Environ Microbiol*, *47*(3), 533-536. doi:10.1128/aem.47.3.533-536.1984
- Doyle, M. P., & Roman, D. J. (1981). Growth and Survival of *Campylobacter fetus* subsp. *jejuni* as a Function of Temperature and pH. *J Food Prot*, *44*(8), 596-601. doi:10.4315/0362-028x-44.8.596
- Doyle, M. P., & Roman, D. J. (1982). Response of *Campylobacter jejuni* to sodium chloride. *Appl Environ Microbiol*, *43*(3), 561-565. doi:10.1128/aem.43.3.561-565.1982
- Ebel, E., & Schlosser, W. (2000). Estimating the annual fraction of eggs contaminated with *Salmonella enteritidis* in the United States. *Int J Food Microbiol*, *61*(1), 51-62. doi:10.1016/s0168-1605(00)00375-5
- EFSA/ECDC. (2021). The European Union One Health 2020 Zoonoses Report. *EFSA Journal* *2021*;19(12):6971, 324 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6971>.
- Fisher, K., & Phillips, C. (2009). The ecology, epidemiology and virulence of *Enterococcus*. *Microbiology (Reading)*, *155*(Pt 6), 1749-1757. doi:10.1099/mic.0.026385-0
- Fonseca, B. B., Beletti, M. E., de Melo, R. T., Mendonça, E. P., Coelho, L. R., Nalevaiko, P. C., & Rossi, D. A. (2014). *Campylobacter jejuni* in commercial eggs. *Braz J Microbiol*, *45*(1), 76-79. doi:10.1590/s1517-83822014000100011
- Fromm, D. (1959). A Rapid Method for the Determination of Egg Shell Permeability*. *Poultry Science*, *38*(1), 171-173. doi:<https://doi.org/10.3382/ps.0380171>
- Gast, R. K., & Beard, C. W. (1992). Detection and Enumeration of *Salmonella enteritidis* in Fresh and Stored Eggs Laid by Experimentally Infected Hens. *J Food Prot*, *55*(3), 152-156. doi:10.4315/0362-028x-55.3.152
- Gast, R. K., & Holt, P. S. (2000). Deposition of phage type 4 and 13a *Salmonella enteritidis* strains in the yolk and albumen of eggs laid by experimentally infected hens. *Avian Dis*, *44*(3), 706-710.
- Ge, Z., Xue, S., Jianmei, Z., Yuehua, L. I., Juan, W., Xiumei, H., . . . Junwei, W. (2016). Isolation, Identification, and Characterization of Foodborne Pathogens Isolated from Egg Internal Contents in China. *J Food Prot*, *79*(12), 2107-2112. doi:10.4315/0362-028x.Jfp-16-168
- Geveke, D., Boyd, G., & Zhang, H. (2011). Uv penetration depth in liquid egg white and liquid whole egg. *Journal of Food Processing and Preservation*, *35*, 754-757. doi:10.1111/j.1745-4549.2011.00525.x

- Golsong, N., Nowak, N., Schweter, A., & Lindtner, O. (2017). KiESEL – die Kinder-Ernährungsstudie zur Erfassung des Lebensmittelverzehrs als Modul in KiGGS Welle 2. In (Vol. 2): Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung.
- Guillier, L., Thébault, A., Fravalo, P., Mughini-Gras, L., Jourdan-da Silva, N., David, J., . . . Gonzales-Barron, U. (2021). Risk factors for sporadic salmonellosis: a systematic review and meta-analysis. *Microbial Risk Analysis*, *17*, 100138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mran.2020.100138>
- Hijnen, W. A., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. *Water Res*, *40*(1), 3-22. doi:10.1016/j.watres.2005.10.030
- Humphrey, T. J., Whitehead, A., Gawler, A. H., Henley, A., & Rowe, B. (1991). Numbers of *Salmonella enteritidis* in the contents of naturally contaminated hens' eggs. *Epidemiol Infect*, *106*(3), 489-496. doi:10.1017/s0950268800067546
- Jonaidi-Jafari, N., Khamesipour, F., Ranjbar, R., & Kheiri, R. (2016). Prevalence and antimicrobial resistance of *Campylobacter* species isolated from the avian eggs. *Food Control*, *70*, 35-40. doi:10.1016/j.foodcont.2016.05.018
- Jones, D. R., Anderson, K. E., & Guard, J. Y. (2012). Prevalence of coliforms, *Salmonella*, *Listeria*, and *Campylobacter* associated with eggs and the environment of conventional cage and free-range egg production. *Poult Sci*, *91*(5), 1195-1202. doi:10.3382/ps.2011-01795
- Jones, D. R., Guard, J., Gast, R. K., Buhr, R. J., Fedorka-Cray, P. J., Abdo, Z., . . . Karcher, D. M. (2016). Influence of commercial laying hen housing systems on the incidence and identification of *Salmonella* and *Campylobacter*. *Poultry Science*, *95*(5), 1116-1124. doi:<https://doi.org/10.3382/ps/pew036>
- Keithlin, J., Sargeant, J., Thomas, M. K., & Fazil, A. (2014). Systematic review and meta-analysis of the proportion of *Campylobacter* cases that develop chronic sequelae. *BMC Public Health*, *14*(1), 1203. doi:10.1186/1471-2458-14-1203
- Khan, S., McWhorter, A. R., Moyle, T. S., & Chousalkar, K. K. (2021). Refrigeration of eggs influences the virulence of *Salmonella Typhimurium*. *Scientific Reports*, *11*(1), 18026. doi:10.1038/s41598-021-97135-4
- Krüger, N. J., Buhler, C., Iwobi, A. N., Huber, I., Ellerbroek, L., Appel, B., & Stingl, K. (2014). "Limits of control"--crucial parameters for a reliable quantification of viable *campylobacter* by real-time PCR. *PLoS One*, *9*(2), e88108. doi:10.1371/journal.pone.0088108
- Kuo, F. L., Ricke, S. C., & Carey, J. B. (1997). Shell Egg Sanitation: UV Radiation and Egg Rotation to Effectively Reduce Populations of Aerobes, Yeasts, and Molds. *J Food Prot*, *60*(6), 694-697. doi:10.4315/0362-028x-60.6.694
- Mensink, G., Hesecker, H., Richter, A., Stahl, A., Vohmann, C., Fischer, J., . . . Six, J. (2007). Ernährungsstudie als KiGGS-Modul (EsKiMo). In: Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung.
- Messelhäusser, U., Thäringen, D., Elmer-Englhard, D., Bauer, H., Schreiner, H., & Höller, C. (2011). Occurrence of thermotolerant *Campylobacter* spp. on eggshells: a missing link for

food-borne infections? *Appl Environ Microbiol*, 77(11), 3896-3897. doi:10.1128/aem.00145-11

Messens, W., Dubocage, L., Grijspeerdt, K., Heyndrickx, M., & Herman, L. (2004). Growth of Salmonella serovars in hens' egg albumen as affected by storage prior to inoculation. *Food Microbiology - FOOD MICROBIOL*, 21, 25-32. doi:10.1016/S0740-0020(03)00045-5

Messens, W., Grijspeerdt, K., & Herman, L. (2005). Eggshell penetration by Salmonella: a review. *World's Poultry Science Journal*, 61(1), 71-86. doi:10.1079/WPS200443

Messens, W., Grijspeerdt, K., & Herman, L. (2006). Eggshell penetration of hen's eggs by Salmonella enterica serovar Enteritidis upon various storage conditions. *Br Poult Sci*, 47(5), 554-560. doi:10.1080/00071660600954601

Miyamoto, T., Horie, T., Baba, E., Sasai, K., Fukata, T., & Arakawa, A. (1998). Salmonella penetration through eggshell associated with freshness of laid eggs and refrigeration. *J Food Prot*, 61(3), 350-353. doi:10.4315/0362-028x-61.3.350

Morey, A., McKee, S. R., Dickson, J. S., & Singh, M. (2010). Efficacy of ultraviolet light exposure against survival of *Listeria monocytogenes* on conveyor belts. *Foodborne Pathog Dis*, 7(6), 737-740. doi:10.1089/fpd.2009.0464

MRI. (2008). Max Rubner-Institut. Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. Ergebnisbericht Teil 2. Nationale Verzehrsstudie II. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. .

Olsen, R., Kudirkiene, E., Thøfner, I., Pors, S., Karlskov-Mortensen, P., Li, L., . . . Christensen, J. (2017). Impact of egg disinfection of hatching eggs on the eggshell microbiome and bacterial load. *Poult Sci*, 96(11), 3901-3911. doi:10.3382/ps/pex182

Paula, A., Fonseca, B., Silva, S. M., & Rossi, A. D. (2009). Viability of *Campylobacter jejuni* in commercial eggs. *Bioscience Journal*, 25, 143-148.

Rastogi, R. P., Richa, Kumar, A., Tyagi, M. B., & Sinha, R. P. (2010). Molecular mechanisms of ultraviolet radiation-induced DNA damage and repair. *J Nucleic Acids*, 2010, 592980. doi:10.4061/2010/592980

RKI. (2018). RKI-Ratgeber, *Campylobacter-Enteritis*.

RKI. (2021a). *Epidemiologisches Bulletin*. 8. Juli 2021.

RKI. (2021b). *Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2020*.

Robinson, D. A. (1981). Infective dose of *Campylobacter jejuni* in milk. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 282(6276), 1584. doi:10.1136/bmj.282.6276.1584

Rukambile, E., Sintchenko, V., Muscatello, G., Kock, R., & Alders, R. (2019). Infection, colonization and shedding of *Campylobacter* and *Salmonella* in animals and their contribution to human disease: A review. *Zoonoses Public Health*, 66(6), 562-578. doi:10.1111/zph.12611

Sahin, O., Kobalka, P., & Zhang, Q. (2003). Detection and survival of *Campylobacter* in chicken eggs. *J Appl Microbiol*, 95(5), 1070-1079. doi:10.1046/j.1365-2672.2003.02083.x

- Sato, M., & Sashihara, N. (2010). Occurrence of Campylobacter in commercially broken liquid egg in Japan. *J Food Prot*, *73*(3), 412-417. doi:10.4315/0362-028x-73.3.412
- Schielke, A., Rosner, B. M., & Stark, K. (2014). Epidemiology of campylobacteriosis in Germany – insights from 10 years of surveillance. *BMC Infectious Diseases*, *14*(1), 30. doi:10.1186/1471-2334-14-30
- Schwaiger, K., Schmied, E. M., & Bauer, J. (2010). Comparative analysis on antibiotic resistance characteristics of *Listeria* spp. and *Enterococcus* spp. isolated from laying hens and eggs in conventional and organic keeping systems in Bavaria, Germany. *Zoonoses Public Health*, *57*(3), 171-180. doi:10.1111/j.1863-2378.2008.01229.x
- Shivaprasad, H. L., Timoney, J. F., Morales, S., Lucio, B., & Baker, R. C. (1990). Pathogenesis of *Salmonella enteritidis* infection in laying chickens. I. Studies on egg transmission, clinical signs, fecal shedding, and serologic responses. *Avian Dis*, *34*(3), 548-557.
- Stingl, K. (2021). NRL für Campylobacter. Stand ISO 10272 und Eierstudie. Wissenschaftliches Symposium der mikrobiologischen Nationalen Referenzlaboratorien am Bundesinstitut für Risikobewertung, Sommer 2021.
- Sulonen, J., Kärenlampi, R., Holma, U., & Hänninen, M. L. (2007). Campylobacter in Finnish organic laying hens in autumn 2003 and spring 2004. *Poult Sci*, *86*(6), 1223-1228. doi:10.1093/ps/86.6.1223
- Ullrich, A., Schranz, M., Rexroth, U., Hamouda, O., Schaade, L., Diercke, M., . . . Robert Koch's Infectious Disease Surveillance, G. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic and associated non-pharmaceutical interventions on other notifiable infectious diseases in Germany: An analysis of national surveillance data during week 1-2016 - week 32-2020. *Lancet Reg Health Eur*, *6*, 100103. doi:10.1016/j.lanpe.2021.100103
- Wells, J. B., Coufal, C. D., Parker, H. M., & McDaniel, C. D. (2010). Disinfection of eggshells using ultraviolet light and hydrogen peroxide independently and in combination. *Poult Sci*, *89*(11), 2499-2505. doi:10.3382/ps.2009-00604

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine wissenschaftlich unabhängige Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Es berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebensmittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.

Impressum

Herausgeber:

Bundesinstitut für Risikobewertung

Max-Dohrn-Straße 8-10

10589 Berlin

T +49 30 18412-0

F +49 30 18412-99099

bfr@bfr.bund.de

bfr.bund.de

Anstalt des öffentlichen Rechts

Vertreten durch den Präsidenten Professor Dr. Dr. Andreas Hensel

Aufsichtsbehörde: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

USt-IdNr: DE 165 893 448

V.i.S.d.P: Dr. Suzan Fiack



CC-BY-ND

BfR | Risiken erkennen –
Gesundheit schützen