

DOI 10.17590/20200120-102303

Escherichia coli in Mehl - Quellen, Risiken und Vorbeugung

Stellungnahme Nr. 004/2020 des BfR vom 20. Januar 2020

Mehl ist ein Naturprodukt und ein wertvolles Lebensmittel. Bei der Lebensmittelüberwachung in Deutschland im Jahr 2018 wurden allerdings in Mehlproben (Weizen, Dinkel und Roggen) immer wieder Shigatoxin-bildende *Escherichia coli* (STEC) nachgewiesen.

Escherichia (E.) coli sind Bakterien, die natürlicherweise im Darm von Tieren und Menschen vorkommen. Werden *E. coli* in Lebensmitteln nachgewiesen, gelten diese als wichtiger Hinweis auf eine fäkale Verunreinigung. Über den Kot bzw. Stuhl können die Bakterien in die Umwelt und auf diverse tierische und pflanzliche Lebensmittel gelangen. Auch direkte Übertragungen zwischen Tier und Mensch sowie von Mensch zu Mensch sind möglich. Bestimmte *E. coli* können bei Tieren und Menschen zu schwerwiegenden Erkrankungen führen, da sie Gifte (Toxine) bilden.

Von besonderer Bedeutung für den Menschen sind *E. coli*, die Shigatoxine bilden können. Diese werden abgekürzt als STEC bezeichnet. STEC, die beim Menschen Erkrankungen auslösen, werden als enterohämorrhagische *E. coli* (EHEC) bezeichnet.

Die Symptome einer Infektion mit STEC sind zunächst Magen-Darm-Beschwerden. Dabei reichen die möglichen Schweregrade von wässrigen bis zu blutigen Durchfällen. Bei Erwachsenen kann eine Infektion auch symptomlos verlaufen. Als besonders schwere Komplikation droht als Folge das hämolytisch-urämische Syndrom (HUS). Hierbei handelt es sich um eine Erkrankung, die sich in akutem Nierenversagen, Blutgerinnungsstörungen und einer Zerstörung der roten Blutkörperchen äußert und in Einzelfällen zum Tod führen kann. Von dieser Form der Erkrankung sind besonders empfindliche Personengruppen, wie kleine Kinder, betroffen.

Verbraucherinnen und Verbrauchern, die sich und ihre Familie vor Lebensmittelinfektionen schützen wollen, empfiehlt das BfR daher zusätzlich zu den bereits bekannten Regeln der Küchenhygiene auch folgende Hinweise zum Umgang mit Mehl zu beachten:

- Hände vor der Zubereitung von Speisen und nach Kontakt mit Mehl gründlich mit Wasser und Seife waschen und sorgfältig abtrocknen.
- Kontakt zwischen Mehl und Lebensmitteln zum direkten Verzehr nach Möglichkeit vermeiden, dabei auch verschiedene Bretter, Teller, Schüsseln und Rührgeräte verwenden bzw. nach Kontakt mit Mehl abwaschen.
- Flächen und Gegenstände nach Kontakt mit Mehl gründlich mit Spülmittel und warmen Wasser reinigen und abtrocknen.
- Kuchen- und Keksteig nicht ungebacken verzehren.

Durch Kochen, Braten und Schmoren werden EHEC/STEC abgetötet. Im Allgemeinen ist es bei der Zubereitung von Speisen im Privathaushalt durch Kochen oder Braten ausreichend, wenn für mindestens zwei Minuten eine Temperatur von mindestens 70 °C im Kern des Lebensmittels herrscht. Dabei ist zu beachten, dass sich diese Werte nicht auf die Anwendung von trockener Hitze (ohne Wasser) beziehen und auch für die Erhitzung von Teigen nicht ausreichen. Im trockenen Mehlprodukt (ca. 13 % Wassergehalt) werden STEC bei 70 °C nicht abgetötet. Auch gegenüber Säuren, Kälte oder Austrocknung sind diese Bakterien rela-

tiv unempfindlich. Das heißt, auch im Tiefkühlschrank lassen sich STEC-Bakterien nicht zuverlässig abtöten.

Wird Mehl mit Eiern, Milch oder Wasser zu einem Teig vermischt, können STEC-Bakterien bei Kerntemperaturen von 70 °C für mindestens zwei Minuten abgetötet werden. Durch höhere Kerntemperaturen lässt sich die notwendige Erhitzungszeit reduzieren.

Allerdings besteht noch großer Forschungsbedarf, so dass eine abschließende gesundheitliche Risikobewertung noch nicht möglich ist. Das BfR plant ein Sachverständigengespräch, um mit ausgewählten Experten die offenen, wissenschaftlichen Fragen zum Thema STEC in Mehl zu beraten.

		BfR-Risikoprofil: [Escherichia coli in Mehl - Quellen, Risiken und Vorbeugung] (Stellungnahme Nr. 004/2020)			
A Betroffen sind	Allgemeinbevölkerung kleine Kinder immungeschwächte Personen [1]				
B Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung bei EHEC/STEC in Mehl	Praktisch ausgeschlossen	Unwahrscheinlich	Möglich [2]	Wahrscheinlich	Gesichert
C Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung bei EHEC/STEC in Mehl	Keine Beeinträchtigung	Leichte Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	Mittelschwere Beeinträchtigung [reversibel/irreversibel]	Schwere Beeinträchtigung [irreversibel] [3]	
D Aussagekraft der vorliegenden Daten	Hoch: Die wichtigsten Daten liegen vor und sind widerspruchsfrei		Mittel: Einige wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	Gering: Zahlreiche wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	
E Kontrollierbarkeit durch Verbraucher	Kontrolle nicht notwendig	Kontrollierbar durch Vorsichtsmaßnahmen	Kontrollierbar durch Verzicht	Nicht kontrollierbar	

Dunkelblau hinterlegte Felder kennzeichnen die Eigenschaften des in dieser Stellungnahme bewerteten Risikos (nähere Angaben dazu im Text der Stellungnahme Nr. 004/2020 des BfR vom 20. Januar 2020).

Zeile A -Betroffen sind:

[1] - Vor allem kleine Kinder, Schwangere und Menschen mit geschwächtem Immunsystem.

Zeile B -Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung

[2] - Die Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung ist abhängig davon, ob und in welchen Mengen das verzehrte Mehl EHEC/STEC enthält. Auch die Verarbeitung des mehlhaltigen Lebensmittels (roh oder gebacken) hat einen Einfluss. Bei Verzehr von Teig (mit rohem Mehl) ist eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich. Weiterhin haben auch individuelle Faktoren des Konsumenten, wie der Zustand des Immunsystems, einen Einfluss.

Zeile C - Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung

[3] - Die Schwere der Erkrankung ist abhängig von Art und Menge aufgenommener EHEC/STEC. Asymptomatische Verläufe, leichte Krankheitsverläufe mit Magen-Darm Symptomen, blutige Durchfälle sowie das Hämolytisch-Urämische Syndrom mit Nierenversagen bis hin zu Todesfällen sind möglich.

Zeile E - Kontrollierbarkeit durch Verbraucher

[4] - Die Angaben in der Zeile „Kontrollierbarkeit durch Verbraucher“ sollen keine Empfehlung des BfR sein, sondern haben beschreibenden Charakter. Vom BfR empfohlene Vorsichtsmaßnahmen sind nachzulesen im grauen Kasten auf der ersten Seite dieser Stellungnahme sowie in der Rubrik: Weitere Informationen auf der BfR-Website zum Thema am Ende dieser Stellungnahme

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) beauftragt, eine Stellungnahme zu Shigatoxin-bildenden *Escherichia coli* (STEC) in Mehl zu erstellen. Hintergrund sind die Ergebnisse des bundesweiten Überwachungsplans 2018, bei dem Mehlproben aus Mühlen auf das Vorkommen von STEC untersucht wurden. Hierbei wurden Weizen-, Dinkel- und Roggenmehl beprobt, in denen relativ häufig STEC gefunden wurden. Die Serotypisierung der an das BfR eingesandten STEC-Isolate ergab, dass in einigen Fällen Serotypen nachgewiesen wurden, die im Zusammenhang mit humanen Erkrankungen bereits festgestellt wurden.

Es wurde um die Beantwortung der Fragestellung gebeten, mit welchen Risiken bereits die Handhabung und Verwendung von STEC-positiven Mehlen, aber auch der Verzehr von Lebensmitteln, die unter Verwendung von STEC-positiven Mehlen hergestellt wurden, verbunden ist.

Bei der vorliegenden gesundheitlichen Bewertung von Mehl und daraus hergestellten Teigen wurde der Fokus auf Weizenmehl gerichtet, da für diese spezifische Matrix die meisten Daten existieren und die größte Exposition (siehe Verzehrdaten) besteht. Nicht bewertet wurde die Exposition durch feine Backwaren, Pasta (trocken oder frisch) und Tiefkühlwaren mit Mehl als Trennmittel.

2 Ergebnis

Die Auswertung von Publikationen und Daten der amtlichen Lebensmittelüberwachung in Deutschland hat ergeben, dass STEC in einem erheblichen Anteil (10 bis 30 %) der Mehle nachweisbar sind.

Bei den in Mehl nachgewiesenen STEC-Varianten handelt es sich um ein breites Spektrum von Serotypen, einschließlich humanpathogener Typen mit verschiedenen Kombinationen von Pathogenitätsfaktoren. STEC, die zu Erkrankungen beim Menschen führen, werden als enterohämorrhagische *E. coli* (EHEC) bezeichnet. EHEC-Infektionen können bei allen Bevölkerungsgruppen (insbesondere aber bei Kleinkindern) schwere gastrointestinale Erkrankungen oder, vor allem bei kleinen Kindern, das hämolytisch-urämische Syndrom (HUS) hervorrufen. Beide Erkrankungsbilder können in Einzelfällen zum Tod führen, beim HUS besteht zusätzlich die Gefahr einer lebenslangen Dialysepflicht.

Ein Zusammenhang zwischen Krankheitsausbrüchen und STEC-Kontaminationen in Mehl konnte in den USA und Kanada hergestellt werden. Obwohl bisher in Deutschland nicht direkt nachgewiesen, konnte auch hier eine weitgehende genetische Übereinstimmung eines STEC-Isolates aus Mehl mit einem Humanisolat (EHEC O157:H7) gezeigt werden. Daraus schließt das BfR, dass auch in Deutschland das Vorkommen von hochpathogenen EHEC-Varianten in Mehl wahrscheinlich ist. Eventuell konnten entsprechende Zusammenhänge bisher nur nicht aufgedeckt werden.

In den beobachteten, auf STEC in Mehl zurückgeführten Infektionen spielt wiederholt der Verzehr von rohem Keksteig eine Rolle. Obwohl auch andere Infektionswege in Frage kommen (mangelnde Küchenhygiene, Einsatz von Mehl als Trennmittel), ist die Infektionsgefahr durch den Verzehr von rohem Keksteig als eine Hauptinfektionsquelle plausibel. Roher Keksteig wird als Trend-Nahrungsmittel gesehen und auch in Deutschland kommerziell angeboten und zum Rohverzehr beworben. In Deutschland werden kommerziell vertriebene Keksteige/Keksteigrührmischungen für den Rohverzehr mit pasteurisiertem Mehl hergestellt. Über die genauen Parameter und die Technologie der Hitzebehandlung ist aber wenig bekannt, und es ist unklar, ob immer ein Nachweis über die Effektivität der Hitzebehandlung geführt werden kann. Für eine effektive Keimabtötung muss bei trockener Hitze eine intensivere Behandlung erfolgen als bei einer Pasteurisierung eines flüssigen Produktes.

Nach Einschätzung der Hersteller von Fertigteig aus hitzebehandeltem/pasteurisiertem Mehl besteht kein Risiko einer Infektion für die Konsumenten. Da die Parameter und Technologie der Hitzebehandlung nicht bekannt sind, kann das BfR nicht bewerten, ob diese Einschätzung zutrifft.

Als Eintragsquellen von STEC in Mehl sind mehrere Stufen der Mehlproduktion möglich. Kontaminationen mit STEC gehen wahrscheinlich ursprünglich auf einen Eintrag in die Nahrungskette auf dem Feld zurück. Dabei spielt die Kontamination des Primärproduktes z. B. durch Wildwiederkäuer eine Rolle. Als weitere Eintragsquellen sind z. B. organische Düngung und Bewässerung denkbar. Die Mühlen spielen insbesondere bei der Verteilung der Keime innerhalb einer Produktcharge und der Verbreitung der STEC von Charge zu Charge eine bedeutende Rolle. Die Mühlenhygiene ist daher ein vielversprechender Ansatzpunkt zur Risikominimierung hinsichtlich der Übertragung von STEC durch Mehl.

Der mikrobiologische Status von Fertigteigen ist unbekannt und unterliegt einer komplexen Mischung von Einflussfaktoren wie Keimeintrag durch Rohstoffe z. B. Mehl sowie gezielte Keimreduktionsmaßnahmen durch die Hersteller. Daher regt das BfR an, die Produktgruppe „Fertigteige“ in die nationalen Monitoringprogramme (MNKP, BüP) und/oder Zoonosemonitoring aufzunehmen.

Das BfR empfiehlt den Herstellern von Mehlen, Backmischungen und Fertigteigen folgende Risikominimierungsmaßnahmen:

1. Regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit von Reinigungs- und ggf. Desinfektionsplänen durch geeignete Eigenkontrollprogramme, die eine Untersuchung der Proben auf das Vorkommen von STEC beinhalten. Für den Fall eines Nachweises von STEC im Eigenkontrollprogramm muss ein Aktionsplan vorliegen.
2. Hitzebehandlung von Fertigteigen für den Einzelhandel bzw. Herstellung aus hitzebehandeltem Mehl (für die angewendeten Hitzebehandlungsschritte sollte ein Wirksamkeitsnachweis geführt werden, der das sichere Abtöten von STEC einschließt).
3. Fertigteige dürfen keine pathogenen Keime enthalten.
4. Mehlstäube nach Möglichkeit vermeiden und gründlich entfernen.
5. Verzicht auf das nachträgliche Bestäuben von Backwaren mit Mehl.

Da nach allgemeinem Verständnis eingeschätzt wird, dass Mehl vor dem Verzehr einem Verarbeitungsschritt unterzogen wird, der zu einer Abtötung von Mikroorganismen führt, be-

rücksichtigen weder rechtliche Vorgaben noch das allgemeine Hygieneverständnis der Bevölkerung die Gefahr einer Infektion durch Mehl.

Zum Schutz vor Lebensmittelinfektionen empfiehlt das BfR Verbraucherinnen und Verbrauchern:

1. Mehl, Backmischungen und rohen Teig immer separat von anderen Lebensmitteln lagern und verarbeiten.
2. Fertige Teige möglichst schnell verarbeiten oder im Kühlschrank lagern.
3. Teige und Backwaren nur nach vollständiger Durcherhitzung verzehren.
4. Nach Kontakt mit Mehl, Backmischungen oder rohem Teig Küchenutensilien und Oberflächen gründlich reinigen.
5. Nach der Verarbeitung von Mehl, Backmischungen oder rohem Teig Hände gründlich waschen und abtrocknen.

Um die Bevölkerung in Deutschland über das mögliche Vorkommen von Krankheitserregern in Mehl zu informieren, sollten vorhandene Verbrauchertipps entsprechend ergänzt werden. Auch Einrichtungen mit Multiplikatorfunktion und besonders gefährdeten Personengruppen (Gemeinschaftseinrichtungen wie Schulen und Kitas) sollten entsprechendes Informationsmaterial erhalten.

Forschungsbedarf besteht zu folgenden Fragestellungen:

- Eintragswege von pathogenen Mikroorganismen in Getreide und Mehl
 - Abhängigkeit vom eingesetzten Getreide (Weizen, Roggen, Dinkel etc.)
 - Abhängigkeit von Primärproduktion (Bewirtschaftung [Bio, konventionell], Anbaugebiet, Bewässerung, Schlaggröße, assoziierte Tierhaltung, Wildvorkommen etc.)
 - Weitere Eintragswege (Wasser, Personal, Insekten, Vögel, Nager etc.)
- Prävalenzen von STEC in Mehlen und mehlhaltigen Produkten in Abhängigkeit von Mehllarten und Herkunft, Anbaugebieten und Transportwegen
- Effektivität von Risikominimierungsmaßnahmen in der Mühle (Prävalenz in Produktionsumgebung, Effizienz von Reinigungs- und ggf. Desinfektionsmaßnahmen)
- Verhalten von pathogenen Mikroorganismen und des Mikrobioms in unterschiedlichen Teigen (Hefeteig, Waffelteig, Brötchenteig etc.) in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
- Optimierung und Standardisierung der Methoden zur Isolierung von STEC aus Mehl und mehlhaltigen Produkten (eine Standardisierung des Nachweises ist besonders wichtig, um die Prävalenzen vergleichen zu können).
- Bedeutung von dormanten Zellen für die Diagnostik, Forschungen zur Revitalisierung und/oder Detektion dieser Zellstadien
- Effektivität der angewendeten Technologien der Hitzebehandlung von Mehl zur Abtötung von STEC
- Bestimmung der Prävalenzen von STEC in Mehl unter Berücksichtigung methodischer Unterschiede, Keimeinträge oder technologisch bedingter Keimreduktion
- Untersuchungen von alternativen Maßnahmen zur Inaktivierung von STEC in Mehl, z. B. das Konditionieren des Getreides mit heißem Dampf, die Behandlung von Getreide mit Ozon oder UV-Strahlung, das Bestrahlen von Fertigteigen, im Hinblick auf

Wirksamkeit und Einfluss auf ernährungsphysiologische Aspekte sowie Akzeptanz durch die Konsumenten

3 Begründung

3.1 Risikobewertung

3.1.1 Shigatoxin-bildende *Escherichia coli*

Escherichia (E.) coli ist ein gramnegatives, nicht sporenbildendes, in der Regel bewegliches Stäbchenbakterium, das zur Bakterienfamilie der *Enterobacteriaceae* gehört. Es kommt natürlicherweise im Darm von Tieren und Menschen vor und gilt deshalb als wichtigster Indikatorkeim für eine fäkale Verunreinigung. Der Nachweis von *E. coli* in Lebensmitteln spricht für eine ungenügende Verarbeitungs-, Betriebs- oder Distributionshygiene. Bestimmte Stämme von *E. coli* können bei Tieren und Menschen schwerwiegende Erkrankungen hervorrufen. Von besonderer Bedeutung für den Menschen sind *E. coli*-Stämme, die Shigatoxine (Stx) (synonym: Verotoxine) bilden können. Shigatoxin-bildende *E. coli* (STEC) kommen natürlicherweise im Darm von Wiederkäuern wie Rindern, Schafen, Ziegen aber auch Wildwiederkäuern vor. Tiere, die STEC ausscheiden, zeigen in der Regel keine Erkrankungsanzeichen. Über den Kot gelangen die Bakterien in die Umwelt und auf diverse Lebensmittel tierischen und pflanzlichen Ursprungs. Auch direkte Übertragungen zwischen Tier und Mensch sowie von Mensch zu Mensch sind möglich. STEC, die beim Menschen Erkrankungen auslösen, werden als enterohämorrhagische *E. coli* (EHEC) bezeichnet.

Im Rahmen der amtlichen Überwachung werden STEC am häufigsten in Wildwiederkäuerfleisch festgestellt (Hartung, Tenhagen et al. 2016). Sie wurden aber auch auf pflanzlichen Lebensmitteln und bei Lebensmitteln mit niedrigem a_w -Wert, wie z. B. Mehl oder Haselnüssen, nachgewiesen. STEC können sich im Temperaturbereich von 8-45 °C vermehren und benötigen a_w -Werte von $>0,95$ zur Vermehrung (Beuchat, Komitopoulou et al. 2013). Sie sind widerstandsfähig gegenüber Austrocknen und Einfrieren, sodass sie in der Umwelt (Boden, Wasser, Fäkalien) über Wochen und Monate überleben können. Versuche zur Überlebensfähigkeit von STEC in Mehl zeigen, dass alle getesteten Serotypen bei Raumtemperatur (23 °C) für mindestens neun Monate lebensfähig blieben und *E. coli* O157:H7 auch nach einem Jahr noch nachweisbar waren (Forghani, den Bakker et al. 2018).

Bei Temperaturen über 60 °C beginnen STEC abzusterben. Für *E. coli* O157:H7 sind D-Werte¹ für Lebensmittel wie Fleisch und Milch bekannt. Diese liegen ähnlich wie bei anderen *E. coli*-Typen im Temperaturbereich von 57-64 °C bei Zeiten zwischen 270 und 9,6 Sekunden. Der Fettgehalt und das Trocknen von Lebensmitteln können allerdings den D-Wert erhöhen. Im Labor wurde eine erhöhte Überlebensfähigkeit von STEC nach Trocknung (auf Papier) gezeigt, wobei die Bakterien 70 °C für 5 Stunden überstanden (Hiramatsu, Matsumoto et al. 2005). Dieser Effekt ist auch beim Überleben in Mehl wahrscheinlich.

¹ Der D-Wert ist die Zeitspanne, die bei einer gegebenen Temperatur zur Reduktion einer Mikroorganismenpopulation auf 10 % erforderlich ist.

a_w -Wert: activity of water; Maß für die Verfügbarkeit von Wasser in Lebensmitteln und/oder Speisen. Je größer der a_w -Wert, desto mehr Wasser steht dem Wachstum/Stoffwechsel von Bakterien zur Verfügung

Versuche zur Dekontamination von mit *E. coli* O157:H7 kontaminierten Lebensmitteln mit 0,5; 1,0 und 1,5 %-igen organischen Säuren haben sich als ineffektiv gezeigt und unterstreichen die Säuretoleranz dieses Erregers (Brackett, Hao et al. 1994). Auch gegenüber Salz können STEC unempfindlich sein (Dupree, Price et al. 2019). Mit Hilfe von Schwefeldioxid (SO₂), das als Konservierungs- und Antioxidationsmittel für verschiedene Lebensmittel zugelassen ist (E220), lässt sich die Konzentration von STEC auf Lebensmitteln reduzieren. Zum Einsatz kommt SO₂ unter anderem bei Trockenfrüchten, aber auch z. B. bei getrockneten Kartoffelerzeugnissen oder getrockneten oder tiefgefrorenen weißen Gemüsesorten, wobei produktspezifische Höchstmengen zugelassen sind. Eine Keimreduzierung von *E. coli* O157:H7 um bis zu 5 log-Stufen konnte beispielsweise in verschiedenen sauren Apfelsaftprodukten durch einen Einsatz von 50 ppm SO₂ erzielt werden (Basaran-Akgul, Churey et al. 2009).

3.1.2 Gefährdungspotenzial durch EHEC-Infektionen

Erkrankungen durch EHEC können bei Menschen leichte bis schwere Durchfallerkrankungen auslösen. Vor allem bei kleinen Kindern droht als Folge einer Infektion das hämolytisch-urämische Syndrom (HUS). Hierbei handelt es sich um eine Krankheit, die sich in akutem Nierenversagen äußert und bei einem erheblichen Anteil der Erkrankten zu einer Dialysepflicht führt. In Einzelfällen (ca. 5 von 1000 Fällen) kann eine EHEC-Infektion zum Tod führen. Die nachfolgenden Angaben zu Infektionsdosis, Inkubationszeit und Ausscheidungsdauer beziehen sich im Wesentlichen auf Erkenntnisse zu EHEC des Serotyps O157:H7. Mit Keimzahlen von unter 100 koloniebildende Einheiten (KbE) ist die Infektionsdosis sehr gering (Paton, Ratcliff et al. 1996, Tilden, Young et al. 1996, Teunis, Takumi et al. 2004). Die Inkubationszeit beträgt ca. 2-10 Tage (durchschnittlich 3-4 Tage) (RKI 2011). Eine Ansteckungsfähigkeit besteht, solange EHEC-Bakterien im Stuhl nachgewiesen werden. Angaben zur Dauer der Keimausscheidung variieren deutlich, von einigen Tagen bis zu mehreren Wochen bzw. Monaten (Matussek, Einemo et al. 2016, Bai, Mernelius et al. 2018). In einer schwedischen Studie wurde eine mittlere Ausscheidungsdauer von 17 Tagen ermittelt (Bai, Mernelius et al. 2018).

In Deutschland wurden im Jahr 2017 insgesamt 2020 EHEC- Erkrankungen und 95 HUS-Fälle an das RKI übermittelt. Wie in den Vorjahren waren Kinder unter 5 Jahren besonders häufig betroffen (29 % der EHEC-Fälle und 48 % der HUS-Fälle). EHEC-Erkrankungen traten bei weiblichen Personen häufiger auf als bei männlichen. 15 % der für das Jahr 2017 mit Angabe der Serogruppe übermittelten EHEC-Fälle wurden durch O91-Stämme, 13 % durch O103-Stämme und 11 % durch O157-Stämme ausgelöst. Dem RKI wurden im Jahr 2017 acht bestätigte Todesfälle im Zusammenhang mit HUS-Erkrankungen (ca. 8,4 pro 100 Erkrankungsfälle) und zwei Todesfälle (ca. 1 pro 1000 Erkrankungsfälle) auf Grund einer EHEC-bedingten Durchfallerkrankung übermittelt (RKI 2019).

3.1.3 Exposition

3.1.3.1 Eintragsquellen von STEC in Mehl

Der Eintrag von STEC in Mehl ist auf mehreren Stufen der Lebensmittelkette möglich, zum Beispiel beim Weizenanbau, der Ernte und Lagerung sowie bei der Verarbeitung des Getreidekorns. Zu den Verarbeitungsschritten zählen das Reinigen, Konditionieren (Netzen) sowie Mahlen und Verpacken, wobei die Kontamination des (Weizen-)Korns vielfach als Hauptertragsweg gesehen wird (Sperber and Group 2007, Sabillón and Bianchini 2016). Sowohl das Düngen von Weizenfeldern mit Gülle von STEC-kolonisierten Rindern als auch der Eintrag über Kot von Wildwiederkäuern werden diskutiert (Laidler, Tourdjman et al. 2013, Persad and LeJeune 2014). Unter den landwirtschaftlichen Nutztieren sind Rinder die Hauptquelle für Shigatoxin-bildende *E. coli* (EFSA 2008). Über die Ausbringung organischer Dünger aus der Tierhaltung werden Humanpathogene in die Böden eingebracht (Olaïmat and Holley 2012). Lebensfähige STEC ließen sich noch nach mehr als 100 Tagen aus künstlich kontaminierten Böden reisolieren (Ma, Ibekwe et al. 2011). Daneben kann auch Bewässerungswasser mit STEC kontaminiert sein (Islam, Doyle et al. 2004). In einer Studie zur Kontamination von Weizensamen konnte gezeigt werden, dass *E. coli* O157:H7 nach der Kontamination des Samens und anschließender Keimung auf steriler Erde in zwei von 96 Fällen im Keimling detektiert werden konnten (Martinez, Stratton et al. 2015). Bei einem weiteren Experiment wurden sterile Samen in kontaminierte Erde gelegt und in fünf von 50 Keimlingen internalisierte *E. coli* O157:H7 gefunden. Versuche zur Kontamination von Weizenähren über Sprühbewässerung mit kontaminiertem Wasser zeigten einen substantiellen Anstieg der *E. coli*-Population auf den Weizenähren nach 24 Stunden und eine Überlebensdauer von bis zu 15 Tagen (Versuchsende). In dieser Studie wurde die Bewässerung von Weizenähren auf Grund der hohen Überlebensraten von *E. coli* O157:H7 auf den Weizenähren als die wahrscheinlichste Kontaminationsquelle unter natürlichen Bedingungen identifiziert (Martinez, Stratton et al. 2015).

Der Eintrag in die Mühle erfolgt vermutlich über staubverkrustete Getreidekörner oder Ablagerungen in den Transport-/Lagertonnen (Gilbert 2010).

3.1.3.2 Prozessierung in der Mühle und Auswirkungen auf die Keimzahlen

Im Anschluss an die Einlagerung des Korns erfolgt die Weiterverarbeitung in der Mühle, hierzu zählen das Reinigen, Konditionieren (Netzen) und eigentliche Mahlen. Entlang dieser Schritte kann es zu einer Verbreitung eingebrachter Kontamination oder Rekontamination innerhalb des Prozesses selbst kommen.

In einer Studie aus den USA wurden in Hartweizenkörnerproben aerobe Gesamtkeimzahlen von 0,9 bis 8,4 log KbE pro g gefunden, abhängig von der Region und den vorangegangenen Niederschlägen (Manthey, Wolf-Hall et al. 2004). Andere beschreiben aerobe Gesamtkeimzahlen im Bereich von 2-4,9 log KbE pro g (Rogers and Hesseltine 1978). Die initiale (grobe) Reinigung der Körner durch Aussieben vermochte die aerobe Gesamtkeimzahl nicht signifikant zu senken. Eine Absenkung der aeroben Gesamtkeimzahl um eine Zehnerpotenz wurde jedoch durch den Einsatz von Bürsten erreicht. Ausgehend von den Proben mit hohen Keimzahlen konnte gezeigt werden, dass die Reinigung verschmutzter Körner im Durchschnitt zu einer Reduktion um eine Zehnerpotenz führte, in Ausnahmefällen zeigte sich eine Erhöhung der aeroben Gesamtkeimzahl. Die mikrobielle Kontamination wurde hier auf der Schale des Korns nachgewiesen, die im Verfahren beseitigt wurde (Manthey, Wolf-Hall et al. 2004).

Bei der Konditionierung (Netzen) der Weizenkörner werden diese mit Wasser versetzt, um den Wassergehalt des Kornes auf ca. 15 % zu erhöhen. Je nach Weizenvariante dauert die Konditionierung sechs bis 48 Stunden bei 23-24°C. Dies verbessert die weiteren Verarbeitungseigenschaften. Um eine gleichmäßige Benetzung der Körner zu erreichen, werden Sprühdüsen verwendet und das Mahlgut durchmischt. Dies führt auch zu einer Kreuzkontamination und Verteilung von Mikroorganismen innerhalb des Mahlgutes. Laut Vorgabe des deutschen Mühlenverbandes muss das zum Konditionieren verwendete Wasser Trinkwasser-Qualität besitzen. Die Hygieneleitlinien für Getreidemühlen des Verbandes Deutscher Mühlen empfehlen außerdem eine regelmäßige Kontrolle für die Prozessschritte Netzen und Abstehzelle und ggf. Reinigung, um eine unerwünschte Vermehrung von Keimen zu verhindern (Verband Deutscher Mühlen e.V. 2016).

Während der Konditionierung konnte in einem Experimentalsystem kein signifikanter Anstieg der aeroben Gesamtkeimzahl beobachtet werden. Allerdings konnten nach der Konditionierung Keime nachgewiesen werden, die zuvor nicht nachweisbar waren. Hierbei wurde ein deutlicher Anstieg von *E. coli* gezeigt. Dies lässt eine selektive Anreicherung von Keimen vermuten, deren aerobe Gesamtkeimzahlen vor der Konditionierung unterhalb der Detektionsgrenze lagen bzw. inhomogen verteilt waren. Auch eine Revitalisierung der Keime aus einem nichtvermehrungsfähigen, aber infektiösen Zustand ist möglich. (Berghofer, Hocking et al. 2003, Scherber, Schottel et al. 2009). Nach diesem Prozess wurden Kornablagerungen in Netzzellen, Aufzügen (Netzschnecken zum Transport) und Lagertonnen nachgewiesen (Berghofer, Hocking et al. 2003).

Das Mahlen reduziert die Gesamtkeimzahl, da die Hülle des Kornes entfernt wird. Allerdings kommt es während der Separation der einzelnen Kornteile zu einer Durchmischung. Nachfolgend finden sich ca. 90 % der aeroben Gesamtkeimzahl in der Kernhülle (Kleie) wieder, die anschließend abgetrennt wird. Weitere Studien zeigen, dass mit dem Mahlen des gereinigten Kornes nochmals eine Verringerung der aeroben Gesamtkeimzahl um etwa eine Logstufe erreicht werden kann (Rogers and Hesseltine 1978, Manthey, Wolf-Hall et al. 2004).

Auf der anderen Seite entsteht während des Mahlens Wärme und in Folge Kondenswasser. Dies kann das Wachstum von Mikroorganismen fördern (Posner 2005).

Weitere Prozessschritte, wie das Trocknen von Spaghetti, zeigten nochmals eine Keimreduktion um 2-3 Logstufen im Vergleich zum Ausgangsprodukt Hartweizengries (Manthey, Wolf-Hall et al. 2004).

Eine hohe Kornqualität bei Hartweizen (Gewicht, Unversehrtheit des Kornes) wurde mit niedrigen aeroben Gesamtkeimzahlen assoziiert (Manthey, Wolf-Hall et al. 2004). Zusammenfassend scheint der Eintrag von Keimen in den Mahlprozess vorrangig durch Mikroorganismen auf der Kernhülle zu erfolgen (Gilbert 2010), wobei sich die Zusammensetzung der Mikrobiota über den Mahlprozess verändern kann und die aeroben Gesamtkeimzahlen im Mehl daher Resultat aus Eintrag und Prozess sind.

3.1.3.3 Keimzahlen in Mehl

Die Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie hat Richt- und Warnwerte für Getreidemehle aus Weizen, Roggen und Dinkel veröffentlicht. Der Richtwert für die aerobe mesophile Koloniezahl (30 °C) beträgt 2×10^6 KbE pro g. Für *Escherichia coli* gilt ein Richtwert

von 1×10^1 KbE pro g und einen Warnwert von 1×10^2 KbE pro g. Salmonellen dürfen in 25 g nicht nachweisbar sein (DGHM 2015).

In der Mikrobiota von Mehl dominieren Enterobakterien (*Serratia*, *Pantoea*, *Escherichia*, *Enterobacter* und *Raoutella*). Außerdem wurden weitere gramnegative Genera wie *Pseudomonas* oder *Aeromonas* gefunden (Gill, Carrillo et al. 2019).

Die aerobe Gesamtkeimzahl von Mehl wurde in mehreren Studien untersucht und bewegte sich meist zwischen 100 und 10.000 KbE pro g. *E. coli* sind in der Regel nicht oder nur in sehr geringen Mengen nachweisbar (siehe Tabelle 1).

Die von Mäde et al. untersuchten Mehlproben aus verschiedenen deutschen Mühlen enthielten in Einzelfällen *E. coli* in Mengen von bis zu 200 Keimen pro g, wobei der Nachweis von *E. coli* mit den Nachweisraten der gefundenen STEC korrelierte (Mäde, Geuthner et al. 2017, Mäde, Geuthner et al. 2018).

Tabelle 1. Nachgewiesene Keimzahlen in Weizenmehl aus der Literatur

Mikroorganismus	Untersuchte Proben	Keimzahl / log KbE pro g	Land	Literatur
Bakterien	1	2,4 ± 0,1; <i>E. coli</i> nicht nachweisbar	USA	(Suehr, Anderson et al. 2019)
<i>E. coli</i>	300	0,8	Australien	(Eglezos 2010)
Aerobe GKZ	100	4,2		
<i>E. coli</i>	545	0,16-0,84	USA	(Sperber and Group 2007)
Aerobe GKZ	435	4,41		
Aerobe GKZ	24	3,32 bis 4,25	Kanada	(Gill, Carrillo et al. 2019)
Coliforme	24	2,25-2,95		
<i>E. coli</i>	24	Nicht nachweisbar		

GKZ: Gesamtkeimzahl; KbE: Koloniebildende Einheiten; MPN: Most probable number

3.1.3.4 Vorkommen von STEC in Mehl

3.1.3.4.1 Ausbrüche durch STEC

Aus den USA oder Kanada ist bekannt, dass STEC-Ausbrüche auftraten, die mit Mehl (oder rohem Keksteig) assoziiert wurden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht der STEC-Ausbrüche, die mit Mehl oder Teig assoziiert waren

Land / Jahr	Lebensmittel	Serotyp	Anzahl Erkrankungsfälle	Literatur
USA / 2009 30 Bundesstaaten	„ready-to-bake cookie dough“	O157:H7	72	CDC 2009, (Neil, Biggerstaff et al. 2012)
USA / 2016 24 Bundesstaaten	Mehl (Teig)	O121 und O26	63	CDC 2016, (Crowe, Bottichio et al. 2017)
USA / 2016 9 Bundesstaaten	Backmischung, (Dessertpizza)	O157:H7	13	(Gieraltowski, Schwensohn et al. 2017)
Kanada / 2016-2017 9 Provinzen	Mehl	O121:H19	30	(Morton, Cheng et al. 2017); CFIA 2017a
Kanada / 2017 1 Provinz	Mehl	O121	6	CFIA 2017b
USA / 2019 9 Bundesstaaten	Mehl	O26	21	CDC 2019

Bei dem STEC-Ausbruch in den USA im Jahr 2016 mit STEC O121 und O26 sind unter anderem drei Kinder erkrankt, die in drei verschiedenen US-Bundesstaaten rohen Teig zum Spielen erhalten hatten (Crowe, Bottichio et al. 2017). Während der Untersuchungen konnte keine Kontaminationsquelle in der Fabrik gefunden werden, was möglicherweise auf eine Kontamination der eingegangenen Rohware schließen lässt. Insgesamt wurden 250 verschiedene Produkte, die Mehl enthielten, zurückgerufen (CDC 2016).

Bei einem weiteren STEC-Ausbruch in den USA im Jahr 2013 mit O121 wurden Tiefkühl-snacks als Vehikel identifiziert. Hierbei wurde Mehl als Ursache vermutet, der Nachweis konnte aber nicht erbracht werden (CDC 2013).

Die Menge an STEC in dem Mehl, die für den Ausbruch in 9 Provinzen in Kanada verantwortlich war, wurde auf 0,15 bis 0,43 wahrscheinlicher Keimgehalt pro 100 g in einem semi-quantitativ-statistischem Verfahren (Most Probable Number; MPN) ermittelt. Die zusätzlich bestimmte aerobe Gesamtkeimzahl betrug 4,48 bis 4,79 log KbE pro g. Zudem zeigte sich keine Korrelation zwischen Coliformen (2,25-2,96 log KbE pro g) und STEC-Wiederfindung.

Die Autoren weisen darauf hin, dass die geringe STEC-Keimzahl eine statistisch abgesicherte Zufallsstichprobe voraussetzt, um STEC in Mehl verlässlich nachweisen zu können bzw. seine Abwesenheit mit einer hohen statistischen Sicherheit festzustellen (Gill, Carrillo et al. 2019).

Daten aus den USA geben für den Zeitraum 2010 bis 2017 eine Prävalenz von 9 % STEC-positiven Mehlproben an (Gonzalez-Escalona and Kase 2019). Eine genauere Charakterisierung der STEC-Isolate aus Mehl einschließlich der Ausbruchsstämme O26 und O121 zeigte die folgenden Serotypen und Virulenzgenausstattung: O26:H11 (*stx1a*, *eae*), O121:H19 (*stx2a*, *eae*), O111:H8 (*stx1a*, *stx2a*, *eae*), O103:H11 (*stx1a*, *eae*), O8:H14 (*stx2d/e*), O159:H9 (*stx2d/e*) und O103:H2 (*stx1a*, *eae*).

3.1.3.4.2 STEC in Mehl in Deutschland, Österreich und der Schweiz

In Sachsen-Anhalt wurden zwischen 2014 und 2017 insgesamt 51 Proben, bestehend aus jeweils 25 g Weizen- oder Roggenmehl, untersucht und die Methode zum STEC-Nachweis und zur Isolierung von STEC aus Mehl optimiert (Mäde, Geuthner et al. 2017). Es wurde gezeigt, dass es notwendig ist, für die Isolierung mehr als 50 Kolonien zu testen. Die untersuchten Mehlproben wurden alle in Mühlen entnommen, die auch auf ihren Hygienestatus untersucht wurden. Insgesamt wurden 98 Teilproben untersucht. Von diesen waren im molekularen Nachweis 38 Proben (entspricht 39 %) positiv, und aus 17 von 88 Proben (eine Probe mit 10 Teilproben wurde nicht weiter untersucht) konnten STEC isoliert werden (entspricht 19 %). Statistische Auswertungen verschiedener Parameter zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Getreidesorte aber eine erhöhte Detektionsrate bei erhöhter Anzahl an Teilproben. Eine Kontaminationsquelle konnte nicht identifiziert werden. Es werden jedoch zwei Möglichkeiten diskutiert. Zum Einen, dass sich durch kontaminierte Rohware (Gurtler, Keller et al. 2019) eingetragene STEC während des Konditionierens/Netzens vermehren. Diese könnten sich dann durch Mehltreue an den Geräten etablieren und verteilen. Zum Anderen wird eine Kontamination des Mehls in der Mühle diskutiert, z. B. über kontaminiertes Wasser oder Kot von Nagetieren oder Vögeln. Neuere Daten zeigen eine Korrelation des STEC-Nachweises mit den beprobten Mühlen und beschreiben das Netzen der Getreidekörner als kritischen Schritt in der Mehlproduktion, da hier Wasser zugeführt wird und es in der Zeit des Netzens in der Abstehezelle bei Raumtemperatur zur Vermehrung von Mikroorganismen kommen kann. In den untersuchten Ablagerungen konnten STEC nachgewiesen werden. Diese führen potentiell bei der Vermahlung der Getreidekörner zur Kontamination des Mehls (Mäde, Geuthner et al. 2018).

Für Deutschland konnten im Rahmen des Bundesweiten Überwachungsplans (BüP) im Jahr 2018 bei 328 untersuchten Weizen-, Dinkel- und Roggenmehlproben 50 STEC nachgewiesen werden (15,2 %), wobei teilweise mehrere Teilproben genommen und untersucht wurden (BVL 2019). Im gleichen Zeitraum wurden auch Getreidegrasprodukte untersucht, wobei hier nur eine von 243 Proben STEC-positiv war (0,4 %). Ferner zeigt ein Warenrückruf (Nov. 2019) von rohem Teig für Mürbeteigplätzchen (Quelle: RASFF 2019.4057), dass STEC auch in einer solchen Matrix vorkommen kann.

Das Nationale Referenzlabor (NRL) *E. coli* hat in den letzten vier Jahren (01/2015-09/2019) 133 STEC-Isolate aus Mehl (einschließlich der aus dem BÜP 2018 und der Isolate bei Mäde et al. 2017), Backmischungen und Getreideabfall zur Untersuchung erhalten. Der STEC-Vorbefund konnte bei sechs Isolaten nicht bestätigt werden (siehe Tabelle 3 und 4).

Von den 133 STEC-Isolaten wurden 28 als Duplikate gewertet, d. h. der gleiche STEC-Serotyp mit gleichen Virulenzfaktoren wurde mutmaßlich mehr als einmal aus derselben Probe (gleiche Probennummer des Einsenders) isoliert. Im Folgenden werden Duplikate nicht mit einbezogen und nur 105 STEC Isolate betrachtet.

Die 105 singulären STEC Isolate stammten aus verschiedenen Typen von Weizen- (n=62), Roggen- (n=27) und Dinkelmehl (n=5). Am häufigsten wurde als Matrix Weizenmehl Typ 550 (n=36) angegeben. Zusätzlich wurden vier Isolate aus Backmischungen (2x Vollkornbrot, 1x Biscuit, 1x Muffin) sowie ein Isolat aus Getreideabfall untersucht. So konnten 27 unterschiedliche Serotypen nachgewiesen werden. Am häufigsten wurden Isolate der Serotypen O187:[H28] (19 %, n=20), O154:[H31] (13 %, n=14), O11:[H48] (10 %, n=10) sowie O36:[H14] (10 %, n=10) aus Mehl, Backmischung und Getreideabfall bestimmt. Aus Roggen- und Weizenmehlen sowie aus Backmischungen und Getreideabfall konnten Serotypen isoliert werden, die ebenso in Proben von humanen Erkrankungsfällen gefunden werden. Hierzu zählen die Serotypen O8:[H9/H19], O79:[H14], O103:[H3], O117:[H4], O127:[H12], O145:[H25], O146:[H25], O156:[H25], O157:[H7], O187:[H28]. Die als hochvirulent geltenden und oftmals mit HUS-assoziierten Serotypen O157:H7, O103:H2 und O145:H28 konnten aus verschiedenen Roggen-, Weizen- und anderen Getreidemehlen isoliert werden (siehe Tabelle 3). Insgesamt zählten 40 % der untersuchten Isolate aus Roggenmehlen (11 von 27) und Weizenmehlen (25 von 62) zu klinisch relevanten Serotypen. Die Isolate des Serotyps O157:[H7] gehörten zum *stx2c*-Subtyp, der mit (schwereren) Erkrankungen assoziiert ist. In der Subtypisierung der Shigatoxingene zeigten sich jeweils *stx1a* (7x), *stx1c* (1x), *stx1d* (37x), *stx2b* (15x), *stx2c* (2x), *stx2e* (3x) und *stx2g* (35x). Die Typen *stx2a*, *stx2d*, *stx2f* sowie die Kombination aus *stx1* und *stx2* wurden nicht detektiert.

In neun Stämmen konnte zusätzlich zu einem der *stx*-Subtypen auch das Gen (*eaeA*) für den Adhärenzfaktor Intimin detektiert werden, der als weiterer wichtiger Virulenzfaktor gilt.

Tabelle 3: Eigenschaften der am NRL *E. coli* typisierten STEC-Isolate aus Mehlsproben

Herkunft (N)	Matrixangabe ¹ (N)	Serotypen
Mehl (94)	Dinkelmehl	
	Dinkelmehl Typ 630	2x O154:[H31]
	Dinkelmehl Typ 1050 (1)	O36:[H14]
	Dinkelvollkornmehl (1)	O36:[H14]
	Ohne weitere Angabe (1)	ONT:[H31]
	Roggenmehl (27)	
	Roggenmehl Type 1150 (11)	O8 :[H9], O11:[H48], O12:[H45], O21:[H21], O36:[H14], 2x O154:[H31], <u>O157</u> :[H7], O175:[H28], 2x O187:[H28]
	Roggenmehl Type 997	O12:[H45], O43:[H2], O156:[H25], O175:[H28], 2x O187:[H28]
	Roggenvollkornmehl	O8 :[H19], O36:[H14], O79:[H14], O110:[H31], O179:[H31], O187:[H28]
	Ohne weitere Angabe (4)	O11:[H48], O156:[H25], ONT:[H7], ONT:[H23]
	Weizenmehl (62)	
	Weizenmehl Typ 405 (11)	O8 :[H19], O11:[H48], <u>O103</u> :[H2], O117:[H4], <u>O145</u> :[H28], 2x O154:[H31], O175:[H28], O187:[H28], ONT:[H23], ONT:[H31]
	Weizenmehl Typ 550 (36)	2x O8 :[H19], 3x O11:[H48], 4x O21:[H21], 4x O36:[H14], 2x O43:[H2], O127:[H12], <u>O146</u> :[H28], 5x O154:[H31], O156:[H25], O175:[H7], O175:[H28], 9x O187:[H28], ONT:[H23], Or:[H23]
	Weizenmehl Typ 812 (1)	O12:[H45]
	Weizenmehl Typ 1050 (3)	<u>O157</u> :[H7], O175:[H28], O187:[H28]
	Weizenvollkornmehl	O8 :[H9], O11:[H48]
	Ohne weitere Angabe (9)	2x O11:[H48], O36:[H14], 2x <u>O146</u> :[H28], O154:[H31], O156:[H25], O175:[H28], ONT:[H19]
Sonstiges (11)	Gemischte Mehle ²	O8 :[H19], O11:[H48], O79:[H23], <u>O103</u> :[H2], O154:[H31], O187:[H28]
	Backmischungen ³ (4)	O36:[H14], O154:[H31], 2x O187:[H28]
	Getreide / Getreideabfall (1)	O187:[H28]

1) Matrixangabe des Einsenders (ADV Matrixcode-L); 2) „Getreidemehle und Mehle aus anderen Pflanzenkörnern“; 3) Biscuit (1), Vollkornbrot, Muffin Backmischung (1);
 [H]: molekulare Bestimmung des H-Typs
fett = Serogruppen die häufig bei humanen Krankheitsfällen nachgewiesen werden (RKI 2019); **unterstrichen** = Serotypen, die häufig bei schweren klinischen Krankheitsverläufen des Menschen beschrieben wurden (Mellmann, Bielaszewska et al. 2008)

Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden die Genome von ausgewählten Stämmen, sequenziert. Die Daten zweier Isolate des Serotyps O146:[H28], eines O103:[H2]-Isolats und eines O157:[H7]-Isolats wurden mit einer Sequenzdatenbank humaner STEC-Stämme am Robert Koch-Institut abgeglichen. Hieraus ergab sich bei einem Vergleich von 2055 Genloci/Allelen die Gruppierung für das O157:[H7]-Lebensmittelisolat mit einem Humanisolat mit nur 8 Allelen Unterschied (cluster distance thresholds von 10 Allelen, *E. coli* MLST Warwick). Eines der sechs untersuchten nicht-STEC-Isolate (BfR-EC-17761) konnte dem Serotyp O121:[H19] zugeordnet werden (siehe Tabelle 4). Stämme dieses Serotyps waren verantwortlich für zwei mehlassoziierte Ausbrüche (siehe Tabelle 2), wobei STEC dieses Serotyps zumeist die Virulenzfaktoren *eae* und *nleB* besitzen (Bugarel, Martin et al. 2011). Das unter-

suchte Isolat aus Weizenmehl besitzt ebenfalls die Virulenzfaktoren *eae* und *nleB*. Damit ist dieses Isolat als enteropathogener *E. coli* (EPEC) zu klassifizieren.

Tabelle 4: Übersicht untersuchter nicht-STEC-Isolate

Bezeichnung	Matrixangabe ¹	Serotypen, Virulenzfaktoren	Vorbefund ²
BfR-EC-17728	Weizenmehl Typ 550	O11:[H5], <i>ehxA</i>	VTEC
BfR-EC-17761	Weizenmehl Typ 550	O121:[H19], <i>eae</i> , <i>nleB</i>	VTEC
19-EC00003-0	Weizenmehl Typ 1050	Nicht bestimmt	EHEC
BfR-EC-16712	Roggenmehl Typ 1150	O150:[H8]	VTEC
BfR-EC-16775	Roggenmehl Typ 1150	O7:[H6]	VTEC
BfR-EC-16709	Roggenmehl Typ 1150	O8:[H8]	VTEC

1) Matrixangabe des Einsenders (ADV Matrixcode-L); 2) Übermittelter Vorbefund

Aktuelle Daten aus der Schweiz zeigen bei 93 untersuchten Mehlproben aus diversen Getreidesorten (Weizen und Weizenmischungen mit anderen Getreidemehlen) aus dem Einzelhandel (Kantone Bern und Aargau; Herkunft Schweiz und andere u. a. Deutschland) eine STEC-Prävalenz von 10,8 %. Die gewonnenen Isolate wurden mit Hilfe der Ganzgenomsequenzierung typisiert und auf ihre Virulenzgenausstattung untersucht (Boss and Hummerjohann 2019). Unter den gewonnenen STEC-Stämmen konnte einer mit *stx2*-Gen (*stx2a*) und *eae* der Serogruppe (O26) nachgewiesen werden. Diese ist oftmals mit Ausbrüchen assoziiert. Die weiteren Stämme zeigen verschiedene Serotypen und eine große Vielfalt in ihrer Virulenzgenausstattung, wurden jedoch nicht mit hohem Risiko bewertet (Kindle, Nuesch-Inderbinen et al. 2019).

Daten aus Österreich zeigen bei 31 Mehlproben verschiedener Getreidesorten aus neun Mühlen in sechs Proben (19,3 %) ein positives Signal für Shigatoxingene (5x *stx2g*, 1x *stx2b*). Vier Proben waren auch kulturell positiv, wobei nur aus einer Kultur auch ein STEC-Isolat gewonnen werden konnte (O36:Hrau). Aus zwei weiteren Proben konnte nach zehnmonatiger Lagerung bei Raumtemperatur jeweils ein STEC-Isolat gewonnen werden (beide Orau:H28), da vermutlich durch die Lagerung die Hintergrundmikrobiota ausreichend weit reduziert worden war. Ein Vergleich mit Humanisolaten zeigte keine Übereinstimmungen (Schlager, Schlagenhaufen et al. 2018).

Zieht man die methodischen Unterschiede bei den verschiedenen Untersuchungen in Betracht, kann geschlussfolgert werden, dass die Prävalenz von STEC in Mehl allgemein zwischen 10 % und 30 % liegen muss. Inwieweit die hier beobachteten unterschiedlichen Prävalenzen auf methodische Unterschiede, verschiedene Keimeinträge oder technologisch bedingte unterschiedliche Keimreduktion zurückzuführen ist, lässt sich derzeit nicht abschätzen und sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

3.1.3.5 Überleben von STEC in Mehl

Verschiedene Studien zeigen die Überlebensfähigkeit von STEC über mehrere Monate in trockenen Lebensmitteln, wie z. B. Walnusskernen, Reisflocken („infant rice cereal“), Apfelpulver und Buttermilchpulver (Beuchat, Komitopoulou et al. 2013, Burgess, Gianotti et al. 2016).

Lagerversuche für STEC der Serogruppen O26, O103, O111 und O157 in Mehl (a_w 0,44) zeigten, dass alle getesteten Serogruppen bei Raumtemperatur (23 °C) für mindestens neun Monate lebensfähig blieben. Stämme des Serotyps O157:H7 waren auch nach einem Jahr noch nachweisbar. Ein Datensatz zur Lagerung bei 35 °C zeigte, dass nach sieben Tagen keine STEC mehr quantifizierbar waren und diese nach 49 Tagen auch nach Anreicherung nicht mehr nachweisbar waren (Ausgangskeimzahl 8 log KbE pro g). Die Autoren empfehlen für Produkte aus Mehl, die nicht erhitzt werden können (bei bestimmten Kuchen), das Endprodukt für zwei Monate bei leicht erhöhter Temperatur zu lagern (35-40 °C), da Salmonellen und STEC inaktiviert würden (Forghani, den Bakker et al. 2018). Das Absterbeverhalten bei Temperaturen von 55, 60, 65, und 70 °C für die gleichen Stämme zeigte (siehe Tabelle 5), dass diese bis zu 60 min (Versuchsende) bei 70 °C in Weizenmehl überlebten. Die errechneten D-Werte lagen zwischen 5,75 min und 8,67 min je nach Serogruppe. Zum Vergleich, der D-Wert für *Salmonella* Enteritidis in Mehl bei 75 °C lag bei 9,97 min (Smith, Hildebrandt et al. 2016). Für Stämme der Serogruppen O121, O145 und O45 konnte eine dezimale Reduktion bei 55 °C von 20,0-49,3 min, bei 60 °C von 4,9-10,0 min, bei 65 °C von 2,4-3,2 min und bei 70 °C von 0,2-1,6 min ermittelt werden. Alle untersuchten STEC-Stämme waren bei Raumtemperatur (23 °C) über 84 Tage direkt quantifizierbar und auch am Versuchsende nach 168 Tagen nach Anreicherung noch nachweisbar (Forghani, den Bakker et al. 2019).

Ein Vergleich der Ausbruchsstämme O121 (USA, 2016) und O157 (USA, 2009) in Bezug auf ihre Überlebensfähigkeit bei Trocknung und Lagerung zeigte eine signifikant höhere Überlebensfähigkeit für O121:H19 nach 24 Stunden im Vergleich zu O157:H7. Beide waren am Versuchsende nach sieben Tagen jedoch immer noch nachweisbar (Suehr, Anderson et al. 2019).

Versuche zur Hitzeinaktivierung von STEC in Mehl für einen Stamm des Serotyps O157:H7, der aus „cookie dough“ isoliert wurde, zeigten eine Reduktion um 5 Logstufen der untersuchten *E. coli* O157:H7-Population nach fünf Minuten bei 70 °C oder 15 Minuten bei 65 °C (indirekte trockene Hitze). Lebensfähige Bakterien konnten aber auch nach 30 Minuten (Versuchsende) bei 70 °C noch nachgewiesen werden (Greene 2012). Ein Vergleich der Daten zur Hitzeinaktivierung ist zum Teil schwierig, da gezeigt wurde, dass unterschiedliche Methodik (z. B. Anzucht der zu testenden Bakterien in flüssiger Nährlösung oder auf Nährböden, Verteilung im Lebensmittel Mehl, Erhitzungsverfahren u. a.) zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann (Hildebrandt, Marks et al. 2016).

Zu berücksichtigen ist auch, dass eine Hitzeinaktivierung von STEC in Lebensmitteln mit niedrigem Wassergehalt in der Regel höhere Temperaturen erfordert und zum Teil abhängig vom Bakterienstamm ist (Beuchat, Komitopoulou et al. 2013, Forghani, den Bakker et al. 2018). In einer aktuellen Studie konnte gezeigt werden, dass STEC nach Lagerung bei 6 °C in Mehl mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 13 % (a_w 0,55) nach fünf Minuten bei 82 °C eine Reduktion um mehr als fünf Logstufen erfahren und nicht mehr nachweisbar waren. Im Vergleich dazu führte bei Mehl mit 8 % Feuchtigkeit (a_w 0,25) diese Temperatur und Zeit nur zu einer Reduktion um zwei Logstufen und war nicht ausreichend, um STEC sicher zu inaktivieren. Ausbruchassoziierte STEC-Stämme zeigten eine erhöhte Überlebensfähigkeit. Mitgeführte mögliche Surrogat-Bakterien für eine Prozessvalidierung machten deutlich, dass z. B. der zu diesem Zweck häufig eingesetzte *E. coli* K12 weniger gut in Mehl überlebte und weniger hitzetolerant war, als der Durchschnitt der untersuchten STEC-Stämme (Daryaei 2019).

(Weizen-)Mehl wird in mehreren Studien als Substrat für Hitzeinaktivierungsversuche bei verschiedenen Parametern genutzt, dabei auch für andere Humanpathogene, wie z. B. Salmonellen (Smith, Hildebrandt et al. 2016, Syamaladevi 2016).

Allgemein wird auch berichtet, dass die Bakterien während der Trocknung und Lagerung in einen dormanten Zustand übergehen und sich während erneuter Rehydratisierung wieder erholen können (Scherber, Schottel et al. 2009), was auch beim Sprossen-assoziierten *E. coli* O104:H4-Ausbruch im Jahr 2011 für den Ausbruchserreger auf den Bockshornkleesamen vermutet wurde (Aurass, Prager et al. 2011).

Tabelle 5. Überlebensfähigkeit von STEC in Mehl bei verschiedenen Temperaturen

Lebensmittel	a _w Wert	Serogruppe	Temperatur / [°C	D-Wert / min	Sigma-Wert / min (Weibull)*	Quelle
Weizenmehl	0,48	O26, O103, O111, O157	55	46,53 - 61,10	26,6 - 15,56	(Forghani, den Bakker et al. 2018)
			60	11,24 - 16,10	5,07- 9,24	
			65	8,01 - 12,20	2,96 - 3,95	
			70	5,75 - 8,67	0,14 - 1,74	
Weizenmehl	0,45	O45, O145, O121	55	k. A.	20,0 - 42,9	(Forghani, den Bakker et al. 2019)
			60	k. A.	4,9 - 10,0	
			65	k. A.	2,4 - 3,2	
			70	k. A.	0,2 - 1,6	
Weizenmehl	0,45	O121 (Ausbruchsstamm)	70	18,2 ± 1,0	4 ± 1	(Suehr, Anderson et al. 2019)
			75	6,5 ± 0,5	0,7 ± 0,5	
			80	4,6 ± 0,4	3 ± 1	

D-Wert/Sigma-Wert: Zeitspanne, die bei einer gegebenen Temperatur zur Reduktion einer Mikroorganismenpopulation auf 10 % erforderlich ist.

*Die mathematische Formel für das Weibull-Modell enthält Zeit- und Wegabhängige Parameter, weshalb Datensets mit unterschiedlichen Anfangspopulationen nicht miteinander verglichen werden können! Aktuellere Studien bevorzugen das Weibull-Modell auf Grund des in der Regel besseren Bestimmtheitsmaßes (Greene 2012, Forghani, den Bakker et al. 2018).

Für *E. coli* O157:H7 wurden Reduktionen der Keimzahlen in Keksteig (a_w = 0,8; hoher Zucker- und Fettgehalt) um 3 Logstufen bei 4 °C und 2,7 Logstufen bei -20 °C beschrieben. Der Nachweis war jedoch auch nach acht Wochen noch möglich (Wu, Ricke et al. 2017). Signifikante Auswirkungen auf die Überlebensrate bei 4 °C in Teig mit unterschiedlicher Zusammensetzung wurden durch das Erhöhen des Zuckergehalts und die Zugabe von Butter als Fettbestandteil (im Vergleich zu Margarine, Kokosöl und Olivenöl) nachgewiesen, allerdings waren auch hier die eingebrachten *E. coli* O157:H7 (Ausgangskonzentration 5,5 log KbE pro g) unter allen Bedingungen noch nach 8 Wochen nachweisbar. Eine Vermehrung der Bakterien wurde von den Autoren nicht erforscht (Wu, Ricke et al. 2017).

Studien zur Hitzeinaktivierung von STEC während des Backprozesses liegen nicht vor. Salmonellen (*S. Senftenberg* 775W ATCC 43845, *S. Typhimurium* ATCC 14028 und *S. Newport* ATCC 6962), die durch künstlich kontaminiertes Mehl in Hamburgerbrötchenteig (a_w 0,97) und Muffinbackteig (a_w 0,92) eingebracht wurden, werden durch den Backprozess (≥ 218,3 °C bzw. 190,6 °C) bei einer notwendigen Backzeit von mindestens neun Minuten bzw. 17 Minuten um 5-6 Logstufen reduziert (Channaiah, Holmgren et al. 2016, Channaiah, Michael et al. 2017). Innerhalb von sechs Minuten (bei erreichter Kerntemperatur von 75-85 °C) wurde bei Hamburgerbrötchen und innerhalb von 17 Minuten bei Muffins (Kerntemperatur 90-100 °C) eine Reduktion um fünf Logstufen erreicht.

Gieraltowski und Kollegen diskutieren eine Kontamination der im Rahmen des O157:H7-Ausbruchs identifizierten Nachspeise („dessert pizza“) durch das Bestäuben von Oberflächen mit Mehl zum Transfer der Pizza oder dickere Stellen des Teiges, der dadurch ggf. nicht ausreichend durchgebacken war (Gieraltowski, Schwensohn et al. 2017).

3.1.3.6 Verzehr von Mehl und Mehlprodukten

Vorläufige Verzehrdaten für das Erntejahr 2016/2017 zeigen einen pro Kopfverbrauch von Getreideerzeugnissen in der Kategorie Hart- und Weichweizenmehl von 69 Kilogramm (kg) pro Jahr und weitere 7,2 kg pro Jahr für Roggenmehl (BMEL; 2019), wobei die Angaben zur Produktgruppe (Backwaren, Teigwaren, Mehl direkt, usw.) nicht aufgeschlüsselt werden. Laut statistischem Jahrbuch des BMEL gibt es in Deutschland 205 meldepflichtige Mühlen (BMEL; 2019). Nach Angaben des deutschen Mühlenverbandes versorgt die Durchschnittsmühle täglich 400.000 Menschen mit Mahlerzeugnissen. Schätzungen des Mühlenverbandes beziffern den Anteil an Mehl, der über den Einzelhandel beim Endverbraucher in privaten Haushalten verbraucht wird, auf ≤ 10 % (www.muehlen.org, (BMEL; 2019)). Mehlprodukte werden von allen Bevölkerungsgruppen, einschließlich der besonders empfindlichen Personengruppen (Kleinkinder, alte Menschen, Schwangere und immunsupprimierte Personen) regelmäßig konsumiert.

Normalerweise wird Mehl nicht direkt verzehrt und wird in der Regel vor dem Verzehr (als Backwaren o. ä.) erhitzt. In Ausnahmefällen werden Mehlprodukte, z. B. roher Keksteig, auch ohne Erhitzungsschritt konsumiert. Dieser rohe Keksteig wird als Trend-Nahrungsmittel gesehen und auch in Deutschland entsprechend beworben (Beispiel: <https://www.groupon.de/deals/spooning-cookie-dough-keksteig>). In einer Umfrage zum Konsum von Risikolebensmitteln in den USA gaben 53 % der befragten jungen Erwachsenen an, zu Hause zubereiteten rohen Keksteig zu konsumieren (Byrd-Bredbenner, Abbot et al. 2008). Angaben zum Rohteigverzehr in anderen Ländern, einschließlich Deutschland, liegen nicht vor. Es gibt jedoch auch keinen Anhaltspunkt für ein deutlich abweichendes Verbraucherverhalten in Europa. Insbesondere bei kleinen Kindern ist damit zu rechnen, dass beim Backen im Haushalt, in Gemeinschaftseinrichtungen oder am Lagerfeuer der verwendete Teig durch Kosten oder Ablecken von den Fingern in geringen Mengen roh verzehrt wird. Im Ausnahmefall besteht darüber hinaus die Möglichkeit, dass Backwaren verzehrt werden, obwohl sie nicht durchgebacken sind.

Zudem kann es bei allen Bevölkerungsgruppen zur Aufnahme von Mehl über nachträglich bestäubte Backwaren sowie Mehl als Trenn- oder Bindemittel kommen.

Allgemein ist Mehl ein stabiles Lebensmittel mit einer angegebenen Mindesthaltbarkeit für Auszugsmehle zwischen einem und eineinhalb Jahren (<http://www.mindesthaltbarkeitsdatum.de/haltbarkeit-von-lebensmittel/haltbarkeit-von-mehl/>).

Diese lange Haltbarkeit führt zu einer unübersichtlichen Verteilung der betroffenen Chargen und erschwert die Rückverfolgung der Produkte und Maßnahmen wie Produktrückrufe (Neil, Biggerstaff et al. 2012, Gieraltowski, Schwensohn et al. 2017).

3.1.4 Risikocharakterisierung

Mehl ist ein minimal prozessiertes natürliches Lebensmittel, das in der Regel keinem keimabtötenden Schritt unterliegt. Die Haltbarkeit des Mehls richtet sich nach dem Ausmahlungsgrad und der Zusammensetzung (Typ) und liegt z. B. bei Weizenmehl Typ 405 zwischen einem und eineinhalb Jahren. Stärker ausgemahlene Mehle und dunklere Mehle sind nur eine kürzere Zeit haltbar (6-8 Monate). Mehl wird weiträumig vertrieben und spielt in unzähligen Produkten eine Rolle.

Eine Kontamination des Getreides mit STEC kann bei Anbau, Ernte, Transport oder Verarbeitung (in der Mühle) erfolgen, und somit können diese Erreger in das Mehl eingetragen und verteilt werden. Als Kontaminationsquelle kommen Boden und Bewässerung aber auch Wildtiere in Frage. Die gefundenen aeroben Gesamtkeimzahlen in Mehl bewegen sich zwischen 10 und 10.000 KbE pro g, wobei *E. coli* als Hygieneparameter nur selten nachgewiesen wurden. Untersuchungen von Mehlproben aus Mühlen in Deutschland auf das Vorhandensein von STEC ergaben zwischen 10 und 21 % positiver Proben, wobei die Nachweisrate von der Anzahl der untersuchten Proben bzw. dem Probenvolumen abhängig war und die Isolierung nur in etwa 50 % der Fälle erfolgreich war, bei denen ein positiver molekularbiologischer Befund vorlag.

Methodische Herausforderungen bestehen bei Nachweis und Isolierung, da die Bakterien in geringer Zahl und sehr heterogen verteilt vorliegen und sich möglicherweise auch in einem dormanten Stadium befinden. Zudem erschwert die Hintergrundmikrobiota des Mehls den Nachweis und die Isolierung. Die Typisierung der in Deutschland gefundenen STEC-Isolate zeigt eine große Anzahl verschiedener Serotypen einschließlich klinisch relevanter Serotypen und die Ausstattung mit verschiedenen *stx*-Typen und anderen Virulenzgenen.

Lebensfähige STEC verschiedener Serogruppen können in Mehl über mehr als 50 Wochen nachgewiesen werden und zeigen eine hohe Hitzestabilität von zum Teil deutlich mehr als fünf Minuten bei 70 °C, wobei diese vom Feuchtigkeitsgehalt abhängig ist und deutliche Unterschiede durch die genutzte Methode und Datenauswertung (lineare Regression vs. Weibull-Modell) gezeigt wurden. Die hohe Hitzestabilität wird auf den geringen a_w -Wert des Mehls von etwa 0,4 bis 0,45 zurückgeführt. Versuche mit Teig (im Beispiel a_w -Wert 0,8) zeigen für das Überleben der untersuchten STEC zudem eine begrenzte Abhängigkeit von den Teigzutaten (Zucker, Fett). STEC vermehren sich bei a_w -Werten ab 0,95. Für die Risikobewertung werden weitere Daten zum Verhalten von STEC in verschiedenen Teigen unter verschiedenen Bedingungen benötigt.

Mehlprodukte werden von allen Bevölkerungsgruppen, einschließlich der besonders empfindlichen Personengruppen regelmäßig, aber üblicherweise nach Erhitzung verzehrt. In seltenen Fällen ist es möglich, dass auch roher Teig und nicht durchgebackene Backwaren verzehrt werden, insbesondere von Kindern. Außerdem kann es zur Aufnahme von Mehl über nachträglich bestäubte Backwaren, sowie Mehl als Trenn- oder Bindemittel kommen.

Für die USA und Kanada gibt es Berichte zu Mehl-assoziierten Ausbrüchen, wobei häufig der Verzehr von rohem Teig eine Rolle spielte oder roher Teig als Spielzeug beschrieben wurde. In Deutschland sind bislang keine EHEC-Erkrankungsfälle bekannt geworden, die sich auf Mehl bzw. Mehlprodukte zurückführen lassen. Obwohl bisher in Deutschland nicht direkt nachgewiesen, zeigt die gefundene weitgehende Übereinstimmung eines Mehlisolates mit einem Humanisolat (EHEC O157:H7), dass das Vorkommen von hochpathogenen E-

HEC-Varianten in Mehl möglich ist. In Deutschland werden Keksteige/Keksteigrührmischungen für den Rohverzehr mit pasteurisiertem Mehl hergestellt und in den Verkehr gebracht. Über die genauen Parameter und die Technologie der Hitzebehandlung ist aber wenig bekannt, und es ist unklar, ob immer ein Nachweis über die Effektivität der Hitzebehandlung geführt werden kann. Für eine effektive Keimabtötung muss bei trockener Hitze eine intensivere Behandlung erfolgen als bei einer Pasteurisierung eines flüssigen Produktes. Es besteht hier ein Bedarf zur Untersuchung der üblichen Behandlungsmethoden, um die Sicherheit der kommerziell vertriebenen Produkte abschließend bewerten zu können.

Die Empfehlungen einer Hitzebehandlung eines Lebensmittels für zwei Minuten bei 70 °C im Kern sind für Mehl bei trockener Hitze nicht ausreichend, um STEC sicher abzutöten.

Anhand der nachfolgenden Szenarien soll das Risiko durch STEC in Mehl abgeschätzt werden.

Szenario 1: Mehle, Backmischungen und rohe Teiglinge, die nicht für den Verkauf im Einzelhandel bestimmt sind

Es ist möglich, dass STEC-kontaminierte Mehle in die Produktion von Backmischungen und rohen Teiglingen gelangen, die nicht für den Verkauf im Einzelhandel vorgesehen sind.

Werden während der Produktion sowohl die Vorgaben zur Vermeidung von Mehlstäuben als auch die Hygieneleitlinien beachtet, wird das Risiko für die Produktionsmitarbeiter/innen als äußerst gering eingeschätzt.

Werden das Mehl bzw. die Teiglinge im Rahmen des Backprozesses einem validierten Erhitzungsschritt zugeführt, und werden die Vorgaben zur Vermeidung von Mehlstäuben beachtet, wird das Risiko für Verbraucherinnen und Verbraucher als vernachlässigbar eingeschätzt.

Basierend auf den vorhandenen Daten gibt es keinen Anhaltspunkt für ein Risiko durch die professionelle Verwendung und Handhabung von Mehl oder rohen Teiglingen. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse könnten diese Einschätzung ändern. Das Risiko einer EHEC-Infektion nach Verzehr von Backwaren steigt aber an, wenn die Backwaren nachträglich mit Mehl bestäubt werden.

Szenario 2: Mehle, Backmischungen und Fertigteige, die im Einzelhandel abgegeben werden

Es ist möglich, dass STEC-kontaminierte Mehle, Backmischungen und Fertigteige im Einzelhandel abgegeben werden.

Wird das Mehl zu einem Teig verarbeitet und anschließend nach Rezept-/Herstellervorgaben im Ofen gebacken, wird das Risiko für Verbraucherinnen und Verbraucher, nach Verzehr der Backware an einer EHEC-Infektion zu erkranken, als sehr gering eingeschätzt. Dennoch kann es zu Risiken durch Mehlstäube und Kreuzkontaminationen kommen, die durch gute Küchenhygiene minimiert, aber nicht vollkommen ausgeschlossen werden können. Von be-

sonderer Bedeutung ist, dass Mehl im Gegensatz zu rohen Eiern oder rohem Fleisch von der Bevölkerung in Deutschland i.d.R. nicht als potentielle Kontaminationsquelle erkannt wird.

Die Lagerung von angesetzten Teigen sollte so kurz wie möglich sein und vorzugsweise gekühlt stattfinden.

Trotz der weiten Verwendung von hitzebehandeltem Mehl in Fertigteigen ist nicht auszuschließen, dass Teige aus STEC-kontaminiertem unbehandeltem Mehl in den Einzelhandel gelangen. Da die Parameter und die Technologie der Hitzebehandlungen der einzelnen Hersteller dem BfR nicht bekannt sind, ist es auch nicht möglich, die Effektivität der Hitzebehandlungen zu bewerten.

Wird der Fertigteig nach Rezept- /Herstellervorgaben im Ofen gebacken, wird das Risiko für Verbraucherinnen und Verbraucher als vernachlässigbar eingeschätzt. Mögliche Kreuzkontaminationen können durch gute Küchenhygiene minimiert werden.

Der Verzehr von rohem Teig stellt für alle Bevölkerungsgruppen im Hinblick auf Infektionsrisiko und Schweregrad einer möglichen Erkrankung, vor allem aber für (Klein-) Kinder, ein Risiko für eine EHEC-Infektion dar.

Weitere Aussagen sind auf Grund fehlender valider Daten zum Verhalten von STEC in unterschiedlichen Teigen (Hefeteig, Waffelteig, Brötchenteig, ...) unter verschiedenen Bedingungen (Zeit, Temperatur der Lagerung „gehenlassen“) nicht möglich.

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse könnten diese Einschätzung ändern.

Das Verbraucherrisiko, nach dem Verzehr von rohen oder nicht ausreichend erhitzten Mehlprodukten, die mit STEC kontaminiert wurden, an einer STEC-Infektion zu erkranken, ist abhängig von der Art und Menge der aufgenommenen Bakterien und der Empfindlichkeit der Konsumenten gegenüber diesen Erregern.

Da STEC in Mehl sehr gut überleben können und die Infektionsdosis sehr gering ist, besteht das Infektionsrisiko auch unabhängig von einer weiteren Vermehrung im Lebensmittel. Bei gesunden Erwachsenen würden die Infektionen wahrscheinlich leichte bis schwere Durchfallerkrankungen auslösen mit einer Hospitalisierung in Einzelfällen. Insbesondere bei kleinen Kindern kann es aber in Folge der Infektion zu einem hämolytisch-urämischem Syndrom (HUS) kommen, das mit blutigem Durchfall und Nierenversagen einhergeht und zur dauerhaften Dialysepflicht und in Einzelfällen zum Tod führen kann.

Das Backen von Mehlprodukten nach gängigen Rezepten und Herstellervorgaben ist nach aktuellem Kenntnisstand geeignet, die Bakterien abzutöten. Weitere Daten für das Verhalten von STEC während des Backprozesses bei unterschiedlicher Zusammensetzung des Backguts und verschiedenen Temperaturen werden benötigt.

3.1.4.1 Bewertung der Qualität der Daten

Die Qualität der vorhandenen Daten und Informationen bezogen auf die Eigenschaften von STEC, deren Übertragung auf den Menschen sowie die von diesen Erregern ausgelösten Erkrankungen ist als zufriedenstellend einzuschätzen. Die Datenqualität zur Verbreitung von STEC in Mehl und deren Hitzestabilität wird als allgemein zufriedenstellend beurteilt, allerdings fehlen Daten zur Verteilung nach Getreidetyp, Anbauweise/Bewirtschaftung (Bio, konventionell), Anbaugebiet, Bewässerung, Schlaggröße, assoziierte Tierhaltung, Wildvorkommen etc. In geringerem Umfang liegen Daten zu Eintragungswegen in Getreide und Mehl vor,

diese lassen aber eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von STEC in diesen Matrices zu. Unzureichend sind jedoch die Daten zur Effektivität von Dekontaminationsmaßnahmen in der Mühle oder zum Verhalten der Erreger in verschiedenen Teigen.

3.1.4.2 Weiterer Forschungsbedarf

Forschungsbedarf besteht zu folgenden Fragestellungen:

- Eintragswege von pathogenen Mikroorganismen in Getreide und Mehl
 - Abhängigkeit vom eingesetzten Getreide (Weizen, Roggen, Dinkel etc.)
 - Abhängigkeit von Primärproduktion (Bewirtschaftung [Bio, konventionell], Anbaugebiet, Bewässerung, Schlaggröße, assoziierte Tierhaltung, Wildvorkommen etc.)
 - Weitere Eintragswege (Wasser, Personal, Insekten, Vögel, Nager etc.)
- Prävalenzen von STEC in Mehlen und mehlhaltigen Produkten in Abhängigkeit von Mehlartern und Herkünften, Anbaugebieten und Transportwegen
- Effektivität von Risikominimierungsmaßnahmen in der Mühle (Prävalenz in Produktionsumgebung, Effizienz von Reinigungs- und ggf. Desinfektionsmaßnahmen)
- Verhalten von pathogenen Mikroorganismen und des Mikrobioms in unterschiedlichen Teigen (Hefeteig, Waffelteig, Brötchenteig, ...) in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit
- Optimierung und Standardisierung der Methoden zur Isolierung von STEC aus Mehl und mehlhaltigen Produkten (eine Standardisierung des Nachweises ist besonders wichtig, um die Prävalenzen vergleichen zu können).
- Bedeutung von dormanten Zellen für die Diagnostik, Forschungen zur Revitalisierung und/oder Detektion dieser Zellstadien
- Effektivität der angewendeten Technologien der Hitzebehandlung von Mehl zur Abtötung von STEC
- Bestimmung der Prävalenzen von STEC in Mehl unter Berücksichtigung methodischer Unterschiede, Keimeinträge oder technologisch bedingter Keimreduktion
- Untersuchungen von alternativen Maßnahmen zur Inaktivierung von STEC in Mehl z. B. das Konditionieren des Getreides mit heißem Dampf, die Behandlung von Getreide mit Ozon oder UV-Strahlung, das Bestrahlen von Fertigteigen im Hinblick auf Wirksamkeit und Einfluss auf ernährungsphysiologische Aspekte sowie Akzeptanz durch die Konsumenten

3.2 Weitere Aspekte

Das Normverfahren ISO/TS 13136:2012 (in Revision) „Horizontales Verfahren für den Nachweis von Shiga-Toxin-bildenden *Escherichia coli* (STEC) und Bestimmung der Serogruppen O157, O111, O26, O103 und O145“ wurde durch Mäde et al. modifiziert, um STEC in Mehl besser nachweisen und vor allem aus Mehlproben isolieren zu können.

Zur allgemeinen Überprüfung der Methoden erhielten die Nationalen Referenzlabore Europas im Rahmen der zweimal jährlich stattfindenden Laborvergleichsuntersuchungen vom Europäischen Referenzlabor (EU-RL proficiency test 25) künstlich mit STEC kontaminierte Mehlproben.

Zur Abschätzung der Prävalenz von STEC in Mehl (auf Mühlenebene) in Deutschland wurde diese Matrix außerdem für das Zoonose-Monitoring 2020 vorgeschlagen.

3.3 Handlungsrahmen / Maßnahmen

Der mikrobiologische Status von Fertigteigen ist unbekannt und unterliegt einer komplexen Mischung von Einflussfaktoren wie Keimeintrag durch Rohstoffe z. B. Mehl sowie gezielte Keimreduktionsmaßnahmen durch die Hersteller. Daher regt das BfR an, die Produktgruppe Fertigteige in die nationalen Monitoringprogramme BüP und/oder Zoonosemonitoring aufzunehmen.

Das BfR empfiehlt den Herstellern von Mehlen, Backmischungen und Fertigteigen folgende Risikominimierungsmaßnahmen:

1. Regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit von Reinigungs- und ggf. Desinfektionsplänen durch geeignete Eigenkontrollprogramme, die eine Untersuchung der Proben auf das Vorkommen von STEC beinhalten. Für den Fall eines Nachweises von STEC im Eigenkontrollprogramm muss ein Aktionsplan vorliegen.
2. Hitzebehandlung von Fertigteigen für den Einzelhandel bzw. Herstellung aus hitzebehandeltem Mehl (für die angewendeten Hitzebehandlungsschritte sollte ein Wirksamkeitsnachweis geführt werden, der das sichere Abtöten von STEC einschließt)
3. Fertigteige dürfen keine pathogenen Keime enthalten.
4. Mehlstäube nach Möglichkeit vermeiden und gründlich entfernen.
5. Verzicht auf das nachträgliche Bestäuben von Backwaren mit Mehl.

Weitere Risikominimierungsmaßnahmen, wie z. B. das Konditionieren des Getreides mit heißem Dampf, die Behandlung von Getreide mit Ozon oder UV-Strahlung, das Bestrahlen von Fertigteigen, bedürfen noch technologischer Entwicklung und Forschung im Hinblick auf Wirksamkeit und Einfluss auf ernährungsphysiologische Aspekte sowie Akzeptanz durch die Konsumenten.

Zum Schutz vor Lebensmittelinfektionen empfiehlt das BfR Verbraucherinnen und Verbrauchern:

1. Mehl, Backmischungen und rohen Teig immer separat von anderen Lebensmitteln lagern und verarbeiten.
2. Fertige Teige möglichst schnell verarbeiten oder im Kühlschrank lagern.
3. Teige und Backwaren nur nach vollständiger Durcherhitzung verzehren.
4. Nach Kontakt mit Mehl, Backmischungen oder rohem Teig Küchenutensilien und Oberflächen gründlich reinigen.
5. Nach der Verarbeitung von Mehl, Backmischungen oder rohem Teig Hände gründlich waschen und abtrocknen.

Um die Bevölkerung in Deutschland über das mögliche Vorkommen von Krankheitserregern in Mehl zu informieren, sollten vorhandene Verbrauchertipps entsprechend ergänzt werden. Auch Einrichtungen mit Multiplikatorfunktion und besonders gefährdeten Personengruppen (Gemeinschaftseinrichtungen wie Schulen und Kitas) sollten entsprechendes Informationsmaterial erhalten.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zum Thema ...

BfR-Stellungnahme zu Shigatoxin-bildende E. coli in Lebensmitteln: Vorhersage des krankmachenden Potenzials der verschiedenen Stämme noch nicht möglich

<https://www.bfr.bund.de/cm/343/shigatoxin-bildende-e-coli-in-lebensmitteln.pdf>

BfR-Stellungnahme zum EHEC-Ausbruch 2011: Aktualisierte Analyse und abgeleitete Handlungsempfehlungen

<https://www.bfr.bund.de/cm/343/ehec-ausbruch-2011-aktualisierte-analyse-und-abgeleitete-handlungsempfehlungen.pdf>



„Stellungnahmen-App“ des BfR

4. Referenzen

Aurass, P., R. Prager and A. Flieger (2011). "EHEC/EAEC O104:H4 strain linked with the 2011 German outbreak of haemolytic uremic syndrome enters into the viable but non-culturable state in response to various stresses and resuscitates upon stress relief." *Environ. Microbiol.* **13**(12): 3139-3148.

Bai, X., S. Mernelius, C. Jernberg, I. M. Einemo, S. Monecke, R. Ehricht, et al., A. Matussek (2018). "Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Infection in Jonkoping County, Sweden: Occurrence and Molecular Characteristics in Correlation With Clinical Symptoms and Duration of stx Shedding." *Front. Cell. Infect. Microbiol.* **8**: 125.

Basaran-Akgul, N., J. J. Churey, P. Basaran and R. W. Worobo (2009). "Inactivation of different strains of *Escherichia coli* O157:H7 in various apple ciders treated with dimethyl dicarbonate (DMDC) and sulfur dioxide (SO₂) as an alternative method." *Food Microbiol.* **26**(1): 8-15.

Berghofer, L. K., A. D. Hocking, D. Miskelly and E. Jansson (2003). "Microbiology of wheat and flour milling in Australia." *Int. J. Food Microbiol.* **85**(1-2): 137-149.

Beuchat, L. R., E. Komitopoulou, H. Beckers, R. P. Betts, F. Bourdichon, S. Fanning, et al., B. H. Ter Kuile (2013). "Low-Water Activity Foods: Increased Concern as Vehicles of Foodborne Pathogens." *J. Food Prot.* **76**(1): 150-172.

Boss, R. and J. Hummerjohann (2019). "Whole Genome Sequencing Characterization of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Isolated from Flour from Swiss Retail Markets." *J. Food Prot.* **82**(8): 1398-1404.

Brackett, R. E., Y. Y. Hao and M. P. Doyle (1994). "Ineffectiveness of Hot Acid Sprays to Decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 on Beef." *J. Food. Prot.* **57**(3): 198-203.

Bugarel, M., A. Martin, P. Fach and L. Beutin (2011). "Virulence gene profiling of enterohemorrhagic (EHEC) and enteropathogenic (EPEC) *Escherichia coli* strains: a basis for molecular risk assessment of typical and atypical EPEC strains." *BMC Microbiol.* **11**.

Burgess, C. M., A. Gianotti, N. Gruzdev, J. Holah, S. Knochel, A. Lehner, et al., O. Tresse (2016). "The response of foodborne pathogens to osmotic and desiccation stresses in the food chain." *Int. J. Food Microbiol.* **221**: 37-53.

Byrd-Bredbenner, C., J. M. Abbot, V. Wheatley, D. Schaffner, C. Bruhn and L. Blalock (2008). "Risky eating behaviors of young adults - Implications for food safety education." *J. Am. Diet. Assoc.* **108**(3): 549-552.

Channaiah, L. H., E. S. Holmgren, M. Michael, N. J. Severt, D. Milke, C. L. Schwan, et al., G. Milliken (2016). "Validation of Baking To Control Salmonella Serovars in Hamburger Bun Manufacturing, and Evaluation of *Enterococcus faecium* ATCC 8459 and *Saccharomyces cerevisiae* as Nonpathogenic Surrogate Indicators." *J. Food Prot.* **79**(4): 544-552.

Channaiah, L. H., M. Michael, J. C. Acuff, R. K. Phebus, H. Thippareddi, M. Olewnik and G. Milliken (2017). "Validation of the baking process as a kill-step for controlling *Salmonella* in muffins." *Int. J. Food Microbiol.* **250**: 1-6.

Crowe, S. J., L. Bottichio, L. N. Shade, B. M. Whitney, N. Corral, B. Melius, et al., K. P. Neil (2017). "Shiga Toxin-Producing *E. coli* Infections Associated with Flour." *N. Engl. J. Med.* **377**(21): 2036-2043.

Daryaei, H. S., Q.; Liu, H; Rehkopf, A.; Penaloza, W.; Rytz, A.; Luo, Y.; Wan J. (2019). "Heat resistance of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* and potential surrogates in wheat flour at two moisture levels." *Food Control* **108**.

DGHM (2015). "Richt- und Warnwerte für Lebensmittel."

Dupree, D. E., R. E. Price, B. A. Burgess, E. L. Andress and F. Breidt (2019). "Effects of Sodium Chloride or Calcium Chloride Concentration on the Growth and Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in Model Vegetable Fermentations." *J. Food. Prot.* **82**(4): 570-578.

EFSA (2008). "Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in slaughter pigs, in the EU, 2006-2007." *EFSA Journal* **6**(12).

Eglezos, S. (2010). "Microbiological quality of wheat grain and flour from two mills in Queensland, Australia." *J. Food Prot.* **73**(8): 1533-1536.

Forghani, F., M. den Bakker, A. N. Futral and F. Diez-Gonzalez (2018). "Long-Term Survival and Thermal Death Kinetics of Enterohemorrhagic *Escherichia coli* Serogroups O26, O103, O111, and O157 in Wheat Flour." *Appl. Environ. Microbiol.* **84**(13).

Forghani, F., M. den Bakker, J. Y. Liao, A. S. Payton, A. N. Futral and F. Diez-Gonzalez (2019). "*Salmonella* and Enterohemorrhagic *Escherichia coli* Serogroups O45, O121, O145 in Wheat Flour: Effects of Long-Term Storage and Thermal Treatments." *Front. Microbiol.* **10**: 323.

Gieraltowski, L., C. Schwensohn, S. Meyer, D. Eikmeier, C. Medus, A. Sorenson, et al., I. Williams (2017). "Multistate Outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 Infections Linked to Dough Mix - United States, 2016." MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep. **66**(3): 88-89.

Gill, A., C. Carrillo, M. Hadley, R. Kenwell and L. Chui (2019). "Bacteriological analysis of wheat flour associated with an outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O121." Food Microbiol. **82**: 474-481.

Gonzalez-Escalona, N. and J. A. Kase (2019). "Virulence gene profiles and phylogeny of Shiga toxin-positive *Escherichia coli* strains isolated from FDA regulated foods during 2010-2017." PLoS One **14**(4): e0214620.

Greene, S. E. L. (2012). Thermal Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Agona in Wheat Flour. Food Science and Technology. Blacksburg, Virginia Tech. Master of Science: 78.

Gurtler, J. B., S. E. Keller, J. L. Kornacki, B. A. Annous, T. Jin and X. Fan (2019). "Challenges in Recovering Foodborne Pathogens from Low-Water-Activity Foods." J. Food Prot. **82**(6): 988-996.

Hartung, M., B.-A. Tenhagen and A. Käsbohrer (2016). Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2014. BfR Wissenschaft, BfR: 275.

Hildebrandt, I. M., B. P. Marks, E. T. Ryser, R. Villa-Rojas, J. Tang, F. J. Garces-Vega and S. E. Buchholz (2016). "Effects of Inoculation Procedures on Variability and Repeatability of *Salmonella* Thermal Resistance in Wheat Flour." J. Food Prot. **79**(11): 1833-1839.

Hiramatsu, R., M. Matsumoto, K. Sakae and Y. Miyazaki (2005). "Ability of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. to survive in a desiccation model system and in dry foods." Appl. Environ. Microbiol. **71**(11): 6657-6663.

Islam, M., M. P. Doyle, S. C. Phatak, P. Millner and X. Jiang (2004). "Persistence of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in soil and on leaf lettuce and parsley grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water." J. Food Prot. **67**(7): 1365-1370.

Kindle, P., M. Nuesch-Inderbinen, N. Cernela and R. Stephan (2019). "Detection, Isolation, and Characterization of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* in Flour." J. Food Protect. **82**(1): 164-167.

Laidler, M. R., M. Tourdjman, G. L. Buser, T. Hostetler, K. K. Repp, R. Leman, et al., W. E. Keene (2013). "*Escherichia coli* O157:H7 infections associated with consumption of locally grown strawberries contaminated by deer." Clin. Infect. Dis. **57**(8): 1129-1134.

Ma, J., A. M. Ibekwe, X. Yi, H. Wang, A. Yamazaki, D. E. Crowley and C. H. Yang (2011). "Persistence of *Escherichia coli* O157:H7 and its mutants in soils." PLoS One **6**(8): e23191.

Mäde, D., A. Geuthner, R. Imming and W. A. (2018). Vorkommen Shiga-Toxin bildender *Escherichia coli* in Getreidemehlen. Arbeitstagung LMH Garmisch, Garmisch-Partenkirchen.

Mäde, D., A. C. Geuthner, R. Imming and A. Wicke (2017). "Detection and isolation of Shiga-Toxin producing *Escherichia coli* in flour in Germany between 2014 and 2017." J. Verbrauch. Lebensm. **12**(3): 245-253.

Manthey, F. A., C. E. Wolf-Hall, S. Yalla, C. Vijayakumar and D. Carlson (2004). "Microbial loads, mycotoxins, and quality of durum wheat from the 2001 harvest of the northern plains region of the United States." J. Food Prot. **67**(4): 772-780.

Martinez, B., J. Stratton, A. Bianchini, S. Wegulo and G. Weaver (2015). "Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 to internal tissues and its survival on flowering heads of wheat." J. Food Prot. **78**(3): 518-524.

Matussek, A., I. M. Einemo, A. Jogenfors, S. Lofdahl and S. Lofgren (2016). "Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* in Diarrheal Stool of Swedish Children: Evaluation of Polymerase Chain Reaction Screening and Duration of Shiga Toxin Shedding." J. Pediat. Inf. Dis. Soc. **5**(2): 147-151.

Mellmann, A., M. Bielaszewska, R. Kock, A. W. Friedrich, A. Fruth, B. Middendorf, et al., H. Karch (2008). "Analysis of collection of hemolytic uremic syndrome-associated enterohemorrhagic *Escherichia coli*." Emerg. Infect. Dis. **14**(8): 1287-1290.

Morton, V., J. M. Cheng, D. Sharma and A. Kearney (2017). "Notes from the Field: An Outbreak of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* O121 Infections Associated with Flour - Canada, 2016-2017." MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep. **66**(26): 705-706.

Neil, K. P., G. Biggerstaff, J. K. MacDonald, E. Trees, C. Medus, K. A. Musser, et al., M. J. Sotir (2012). "A Novel Vehicle for Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 to Humans: Multistate Outbreak of *E. coli* O157:H7 Infections Associated With Consumption of Ready-to-Bake Commercial Prepackaged Cookie Dough-United States, 2009." Clin. Infect. Dis. **54**(4): 511-518.

Olaimat, A. N. and R. A. Holley (2012). "Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review." Food Microbiol. **32**(1): 1-19.

Paton, A. W., R. M. Ratcliff, R. M. Doyle, J. Seymour Murray, D. Davos, J. A. Lanser and J. C. Paton (1996). "Molecular microbiological investigation of an outbreak of hemolytic-uremic syndrome caused by dry fermented sausage contaminated with Shiga-like toxin-producing *Escherichia coli*." J. Clin. Microbiol. **34**(7): 1622-1627.

Persad, A. K. and J. T. LeJeune (2014). "Animal Reservoirs of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli*." Microbiol. Spectr. **2**(4): EHEC-0027-2014.

Posner, E. S. H., A.N. (2005). Wheat flour milling. USA, American Association of Cereal Chemists, Inc.

RKI (2019). (Robert Koch-Institut), Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2018, RKI.

Rogers, R. F. and C. W. Hesseltine (1978). "Microflora of wheat and wheat flour from six areas of the United States." Cereal Chem. **55**(6): 889-898.

Sabillón, L. E. and A. Bianchini (2016). "From Field to Table: A Review on the Microbiological Quality and Safety of Wheat-Based Products." *Cereal Chem.* **93**(2): 105-115.

Scherber, C. M., J. L. Schottel and A. Aksan (2009). "Membrane phase behavior of *Escherichia coli* during desiccation, rehydration, and growth recovery." *Biochim. Biophys. Acta* **1788**(11): 2427-2435.

Schlager, S., C. Schlagenhafen, S. Neubauer, K. Hauser, E. Edler, B. Springer and F. Allerberger (2018). Prevalence of Shigatoxin-Producing *Escherichia coli* in Different Types of Flour. ASM Microbe, Atlanta.

Smith, D. F., I. M. Hildebrandt, K. E. Casulli, K. D. Dolan and B. P. Marks (2016). "Modeling the Effect of Temperature and Water Activity on the Thermal Resistance of *Salmonella* Enteritidis PT 30 in Wheat Flour." *J. Food Protect.* **79**(12): 2058-2065.

Sperber, W. H. and N. A. M. A. M. W. Group (2007). "Role of microbiological guidelines in the production and commercial use of milled cereal grains: a practical approach for the 21st century." *J. Food Prot.* **70**(4): 1041-1053.

Suehr, Q. J., N. M. Anderson and S. E. Keller (2019). "Desiccation and Thermal Resistance of *Escherichia coli* O121 in Wheat Flour." *J. Food Prot.* **82**(8): 1308-1313.

Syamaladevi, R. M. T., R. K.; Xu, J.; Villa-Rojas, R.; Tang, J.; Carter, B.; Sablani, S.; Marks, B. (2016). "Water activity change at elevated temperatures and thermal resistance of *Salmonella* in all purpose wheat flour and peanut butter." *Food Research International* **81**: 163-170.

Teunis, P., K. Takumi and K. Shinagawa (2004). "Dose response for infection by *Escherichia coli* O157 : H7 from outbreak data." *Risk Anal.* **24**(2): 401-407.

Tilden, J., W. Young, A. M. McNamara, C. Custer, B. Boesel, M. LambertFair, et al., J. G. Morris (1996). "A new route of transmission for *Escherichia coli*: Infection from dry fermented salami." *Am. J. Public Health* **86**(8): 1142-1145.

Verband Deutscher Mühlen e.V. (2016). Hygiene-Leitlinien für Getreidemühlen. Berlin.

Wu, S., S. C. Ricke, K. R. Schneider and S. Ahn (2017). "Food safety hazards associated with ready-to-bake cookie dough and its ingredients." *Food Control* **73**: 986-993.

BMEL 2018: <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/tabellen-kapitel-d-und-hiv-des-statistischen-jahrbuchs/>, aufgerufen 07.10.2019

CDC 2009: <https://www.cdc.gov/ecoli/2009/cookie-dough-6-30-2009.html>, aufgerufen 08.10.2019

CDC 2013: <https://www.cdc.gov/ecoli/2013/o121-03-13/index.html>, aufgerufen 08.10.2019

CDC 2016: <https://www.cdc.gov/ecoli/2016/o121-06-16/index.html>, aufgerufen 08.10.2019

CDC 2019: <https://www.cdc.gov/ecoli/2019/flour-05-19/index.html>, aufgerufen 07.10.2019

CFAI 2017a: <https://www.inspection.gc.ca/about-the-cfia/accountability/food-safety-investigations/flour-products-e-coli-o121-eng/1521138330972/1521138477096>, aufgerufen 07.10.2019

CFAI 2017b: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/public-health-notice/2017/public-health-notice-outbreak-e-coli-infections-linked-various-flours-flour-products.html>, aufgerufen 07.10.2019

RKI 2011:

https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_EHEC.html#doc2374530bodyText7, aufgerufen 09.01.2020

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.