

## TA-PROJEKTE

### Zur Sicherheit von Fresh-Cut-Warenketten

Systemische Komplexität, technologische Ansätze und Grenzen ihrer Wirksamkeit

von Axel Dierich, inter 3 GmbH Institut für Ressourcenmanagement, Berlin, Peter Muranyi und Bernd Kramer, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising

**Verzehrfertige Salate, Obstprodukte und Sprossen boomen. Allerdings bergen sie ein nicht unerhebliches Risiko einer Belastung mit Krankheitserregern. Warum lassen sich Einträge von pathogenen Bakterien trotz hoher Hygienestandards in den verarbeitenden Betrieben nicht vollständig vermeiden? An welchen Stellen der Warenketten erfolgen Kontaminationen und wie können sich die Erreger vermehren? Das vom BMBF im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit“ geförderte Verbundprojekt SAFE-FRESH hat erforscht, wie sich das mikrobielle Risiko bei Fresh-Cut-Erzeugnissen reduzieren lässt. Dazu wurden ein Monitoring- und verschiedene Entkeimungsverfahren entwickelt sowie realistische Szenarios zu möglichen Kontaminationsfällen und deren Folgekaskaden hergeleitet. Der Gewinn an zusätzlicher Sicherheit ist jedoch begrenzt.**

Fünf Jahre nach der EHEC-Krise gibt es trotz verschärfter Regulierung weiterhin viele Schwachstellen entlang der Warenketten von Fresh-Cut-Erzeugnissen; und so ist folgendes Szenario weiterhin denkbar:

Heiße und trockene Witterung erfordert eine wiederholte Über-Kopf-Bewässerung von Salatköpfen kurz vor ihrer Ernte. Diese werden anschließend zu verschiedenen Salatmischungen und Snacksalaten verarbeitet und über den Einzelhandel vertrieben. Eine Woche später leiden 1.500 Personen in ganz Deutschland an Darminfektionen, um die 300 von ihnen liegen mit

Komplikationen im Krankenhaus. Sie alle hatten von diesem Salat gegessen, der mit *E. coli* Bakterienstämmen, darunter EHEC, sowie mit Enterokokken belastet war.

#### 1 Langwierige Ursachenermittlung

Die Behörden tappen zunächst im Dunkeln, was die Ursache angeht, ein erster Verdacht auf Kochschinken, der einem Salatprodukt beigelegt war, stellt sich nach zwei Tagen als Irrtum heraus. In den verarbeitenden Lebensmittelbetrieben selbst herrscht ebenfalls über mehrere Tage Ungewissheit. Die Ursache wird erst neun Tage nach der ersten Ernte in einem der Betriebe identifiziert, jedoch nur über Umwege: Hinweise gaben zunächst Erkrankungen einzelner Mitarbeiter sowie in ersten Labortests ermittelte leichte Keimbelastungen von Produkten, die durch Kreuzkontaminationen im Schneide- und Waschvorgang bedingt waren. Erst nach mehreren weiteren Tests kann die betroffene Rohware identifiziert werden.

Schließlich wird 14 Tage nach der ersten Ernte auch die Quelle der Kontamination gefunden: Das Wasser, das bis zu diesem Zeitpunkt der Bewässerung mehrerer Salatfelder diente, enthält große Mengen der pathogenen Bakterien. Es entstammt einer Zisterne, in die Kleintiere eingedrungen und darin verendet waren. Die ausgiebige und mehrtägige Über-Kopf-Bewässerung hatte dazu geführt, dass sich die Bakterien umfassend auf den Salatblättern festsetzen und im Waschvorgang nur unzureichend entfernt werden konnten.

Tatsächlich kann die Ursachensuche viel länger dauern oder sogar, wie beim EHEC-Ausbruch 2011, keinen gesicherten Nachweis für die Kontamination erbringen. Waren damals die Bockshornkleesamen wirklich mit dem Erreger belastet? Und wenn ja, zu welchem Zeitpunkt wurden sie kontaminiert – bereits vor der Ernte, bei der Ernte, oder erst an einem der zahlreichen Umschlagsknotenpunkte? Oder wäre die Ursache anderswo zu suchen gewesen, z. B. in einem Sprossen produzierenden Betrieb?

Strukturen und Dynamiken der Fresh-Cut-Warenketten sind zu komplex, als dass sie jederzeit vollständig kontrolliert werden könnten. Sowohl die Gewährleistung einer hohen Qualität der Ware als auch der Umgang mit den Risiken stellen

demnach für die verschiedenen beteiligten Akteure immer wieder große Herausforderungen dar.

## 2 Forschungsansatz von SAFEFRESH

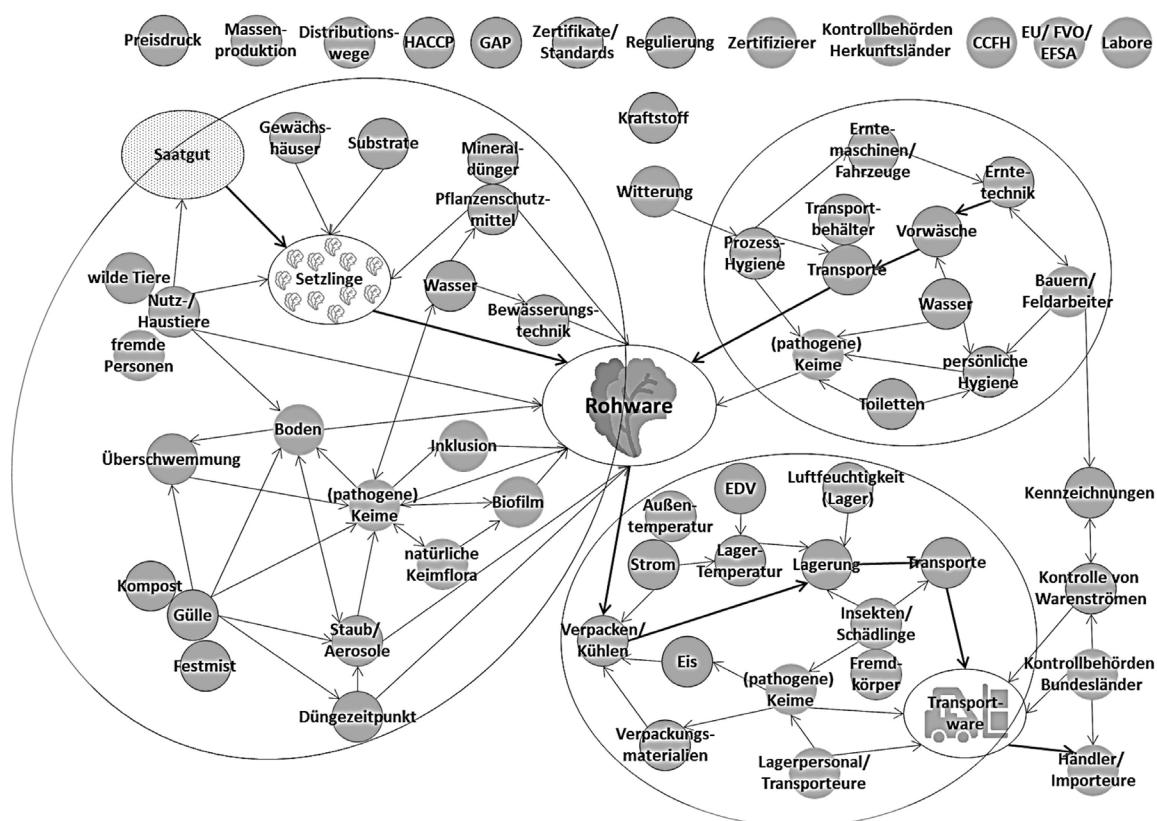
Das Verbundprojekt „SAFEFRESH“ hatte zum Ziel, durch die Entwicklung praxisrelevanter Lösungsansätze für die Lebensmittelindustrie genau jene Herausforderungen anzugehen.<sup>1</sup> Dazu wurde ein Schnellnachweisverfahren zur Identifizierung pathogener Erreger entwickelt sowie die Entkeimung pflanzlicher Lebensmittel anhand physikalischer (Xenon-Blitzlicht, Gasplasma) und chemischer Verfahren (Chlordioxid, elektrolytisch angeregtes Wasser) im Labor- und Technikumsmaßstab untersucht. Als Referenzprodukte dienten geschnittener Endiviensalat, geschnittene Cantaloupe-Melonen sowie Sprossen. Um die Technologien in die Praxis einzubin-

den und eine bessere Vorbereitung auf verschiedene Kontaminationsereignisse zu ermöglichen, erfolgte auf Grundlage umfangreicher Interviews und Literaturstudien eine Analyse des systemischen Aufbaus der Warenketten dieser Produkte, insbesondere ihrer besonders sensiblen und kritischen Elemente. Daraus wurden sechs Szenarios mit jeweils Best- und Worst-Case-Varianten abgeleitet, welche die vielfältigen Eintragswege von Erregern in die Warenketten sowie mögliche Folgekaskaden aufzeigen.<sup>2</sup>

## 3 Komplexität und Sicherheit der Fresh-Cut-Warenketten

Fresh-Cut-Warenketten sind in drei Teilsysteme (TS) gegliedert (Abb. 1): TS 1 umfasst die Rohwaren- bzw. Sprossensaatproduktion und deren Lagerung und Vertrieb, TS 2 die Verarbeitung zu

Abb. 1: Systemanalyse für das Teilsystem Rohware (Salate und Melonen), mit den drei Bereichen Anbau, Ernte und Lagerung/Transporte



HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points; GAP: Good Agricultural Practice; CCFH: UN Codex Committee on Food Hygiene; FVO: Food and Veterinary Office; EFSA: European Food Safety Authority

Quelle: inter 3; freepik/Madebyoliver von <http://www.flaticon.com>

Fresh-Cut-Erzeugnissen bzw. die Sprossenproduktion und TS 3 deren Vertrieb. Entsprechend werden im Folgenden Systemstrukturen, Gefährdungen und Sicherheitsmaßnahmen entlang von drei Thesen (am Beispiel von Fresh-Cut-Salaten) skizziert:

Erste These: Die Anbau- und Vertriebssysteme der Rohwaren weisen einige mikrobielle Sicherheitsschwächen auf. Sie sind häufig intransparent und schwer zu kontrollieren.

Anbau und Vertriebssysteme von nicht selbst produzierter Rohware sind eine Black Box für die verarbeitenden Betriebe. Zu viele Variablen können deren mikrobielle Sicherheit gefährden: Boden, organische Düngemittel (Kompost, Gülle, Festmist) sowie Wasser (für Bewässerung und Ausbringen von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln) können alle pathogene Erreger enthalten oder eintragen. Bei belastetem (z. B. oberflächennah entnommenem) Bewässerungswasser und organischem Dünger hängt es wesentlich von der Technik (Florkowski et al. 2009) sowie vom zeitlichen Abstand der Bewässerung/Düngung zur Pflanzung bzw. Ernte ab (Everis 2004), ob die eingetragenen Mikroorganismen bis dahin abgestorben sind. Weitere mögliche Eintragswege sind Aerosole und Staub von nahe gelegenen Feldern, Starkregen und Überschwemmungen sowie Ausscheidungen von Vögeln, Säugetieren und Menschen. Eine natürliche Barriere bildet die Konkurrenz durch die bakterielle „Hintergrundbesiedelung“, ebenso schränkt zum Beispiel Trockenheit Vermehrung und Überleben von pathogenen Bakterien stark ein (Doyle/Erickson 2008). Allerdings können sie sich in Ritzen, Kerben und Stomata (Spaltöffnungen) der Blätter festsetzen, teilweise in Biofilmen (Appel et al. 2011), und somit vor Umwelteinflüssen und ihrer Entfernung im Waschvorgang geschützt sein.

Bei der Ernte kann eine hygienische Gefährdung von verschmutzten Erntemaschinen (Everis 2004, S. 29), Transportbehältern, mikrobiell belastetem Washwasser und in besonderem Maße von mangelhafter persönlicher Hygiene ausgehen. Bei Lagerung sowie Transporten der Rohwaren zu verarbeitenden Betrieben können abermals Personal, Verpackungsmaterialien, Schädlinge und Fremdkörper Überträger von Mikroorganismen sein. Besteht dann eine Belastung mit pathogenen Erregern, hängt es wesentlich von Luftfeuchtigkeit,

Temperatur und Verfügbarkeit von Nährstoffen ab, ob diese überleben und sich vermehren können. Verzweigte Handelsstrukturen erschweren wiederum Qualitätskontrollen, und der Preisdruck seitens Verbrauchern und Einzelhandel fördert Kosteneinsparungen an verschiedenen Stellen.

Gesetzgebungen sowie staatliche, intergouvernementale und privatwirtschaftliche Kontrollmechanismen, wie z. B. das UN Codex Committee on Food Hygiene (CCFH), Global GAP und International Featured Standards (IFS), dienen dazu, hohe Hygienestandards bei der Produktion und entlang der gesamten Warenkette zu gewährleisten. Dabei basieren die Richtlinien der Zertifizierungsorganisationen auf international anerkannten, strengen Hygienestandards wie GAP, HACCP und GMP<sup>3</sup>, betreffen allerdings nur die jeweils zertifizierten Teilnehmer und können einzelne Fehler und Verstöße nicht verhindern.

Zweite These: Die Qualität und Sicherheit der Produkte könnte (im Sinne des Hürdenprinzips) durch gezielte Monitoring- und Entkeimungsmaßnahmen im verarbeitenden Betrieb noch zuverlässiger gewährleistet werden.

Neben der Möglichkeit einer ursprünglichen mikrobiellen Kontamination der verschiedenen Rohwaren kann auch im Verlauf der Verarbeitung beim Fresh-Cut-Produzenten eine Übertragung von Mikroorganismen erfolgen. Einen groben Überblick über die Verarbeitungsschritte von Salat, Melonen und Sprossen gibt Tabelle 1.

Mögliche Ursachen für betriebsinterne mikrobielle Kontaminationen sind die Übertragung durch Mitarbeiter (z. B. bei hygienischer Unachtsamkeit), eine Verunreinigung von Oberflächen aufgrund falscher Reinigungspraxis sowie Kreuzkontaminationen ausgehend von belasteter Rohware.

Als Antwort auf diese Gefährdungen wurden im Rahmen von SAFEFRESH unterschiedliche Konzepte zum schnellen Nachweis und zur Inaktivierung von pathogenen Mikroorganismen auf Oberflächen pflanzlicher Lebensmittel erforscht. Es konnte eine kulturbasierte Schnellmethode für den Nachweis pathogener Erreger mittels Matrix Assisted Laser Desorption Ionization – Time of Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF-MS) entwickelt werden, die je nach Ausgangskonzentration der Bakterien eine Identifikation in-

**Tab. 1: Verarbeitungsprozesse in Fresh-Cut-Betrieben**

<i>Produkt</i>	<i>Lagerung Rohware</i>	<i>Vorbehandlung/Anzucht</i>	<i>Schneiden/Ernte</i>	<i>Wäsche</i>	<i>Portionieren/ Verpacken</i>
Schnittsalat	Kühlraum	Putzen, grobes Zerteilen	maschinell	Spülbecken und Düsen; Schleudern	maschinell (Tüten), manuell (Salatschalen)
Cantaloupe- Melonen	Kühlraum	Waschen ungeschälter Früchte im Tauchbad	manuell	Kein weiteres Waschen	manuell
Mungobohnen- sprossen	in Säcken (Bohnen)	Anzucht in Containern, regelmäßige Bewässerung	Ernte (manuell)	1–3 Wasch- vorgänge	manuell

Quelle: Eigene Darstellung

nerhalb weniger Stunden und dadurch zeitnahe Maßnahmen (z. B. Behandlung, Aussortierung, Rückruf) ermöglicht (Fröhling et al. 2015). Durch Anwendung physikalischer bzw. chemischer Entkeimungsverfahren konnten signifikante Reduktionen der mikrobiellen Belastung auf Schnittsalat, Sprossen und Melonen erreicht werden. Die direkte Reduktion auf der Oberfläche von Endiviensalat, Mungobohnensprossen oder Cantaloupe-Melone ist beim Einsatz von Chlordioxid oder elektrolytisch angeregtem Wasser jedoch auf etwa 1–1,5 Zehnerpotenzen (90–97 %) beschränkt, wovon etwa 0,5 Zehnerpotenzen auf den Wascheffekt zurückzuführen sind. Allerdings eignen sich diese Wirkstoffe in geringen Konzentrationen zur Verminderung der mikrobiellen Belastung im Waschwasser während des Verarbeitungsprozesses, und somit der Gefahr von Verschleppungen. Der Einsatz dieser chemischen Desinfektionsverfahren hatte keine negativen Auswirkungen auf die untersuchten Qualitätsparameter (Farbe, Respiration, Gesamtpolyphenolgehalt, antioxidatives Potenzial, Enzymaktivität).

Xenon-Blitzlicht erwies sich als effektives Verfahren zur schnellen Keimreduktion auf den Produktoberflächen, im Fall von Schnittsalat um bis zu 99 % mit einem einzelnen Lichtblitz. Mögliche Produktveränderungen wie z. B. eine durch das Blitzlicht induzierte Bräunung können durch den Einsatz optischer Filter verhindert werden. Bei Mungobohnensprossen hatte die Behandlung mit Xenon-Blitzlicht insgesamt sogar einen positiven Effekt auf sensorische Merkmale, was vor allem auf die mikrobielle Reduktion (ca. 1,5 Zehnerpotenzen) zurückzuführen war (Kramer et al. 2015).

Bei der Plasmatechnologie konnten z. B. bei Salat, in Abhängigkeit des Bakterienstamms, Inaktivierungen von 2–6 Zehnerpotenzen (99–99.9999 %) innerhalb einer Minute Behandlungszeit nachgewiesen werden (Schnabel et al. 2015).

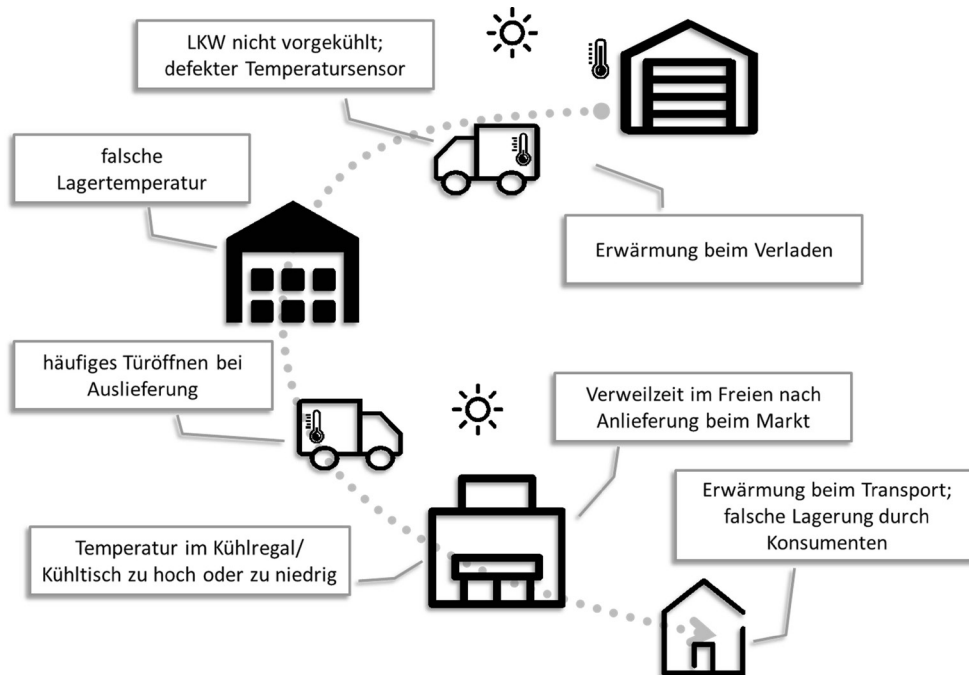
Insgesamt ist festzuhalten, dass die untersuchten Entkeimungsverfahren bei Anwendung auf pflanzlichen Lebensmitteln nie zu einem sterilen Produkt führen werden, was bei einem frischen Naturprodukt aber auch gar nicht erwünscht ist. Eine antimikrobielle Behandlung und damit Inaktivierung von pathogenen Erregern kann jedoch zur Erhöhung der Verbrauchersicherheit beitragen. In keinem Fall kann ein Entkeimungsprozess aber ein hygienisches Produktionsumfeld ersetzen.

Dritte These: Die verpackten Fresh-Cut-Erzeugnisse sind hochsensible Lebensmittel, die jedoch von Logistik, Handel und Verbrauchern nicht ausreichend als solche behandelt werden.

Fresh-Cut-Erzeugnisse erfordern eine lückenlose Kühlkette, ähnlich der von rohem Fleisch. So kann eine Reihe von Schwachstellen entlang der Vertriebskette auch bei sehr geringfügiger Belastung des Produktes mit pathogenen Erregern zu deren Vermehrung auf ein gesundheitskritisches Niveau führen, bevor ein sensorisch wahrnehmbarer Verderb die Verbraucher vom Verzehr abschrecken würde (vgl. Martín-Belloso/Soliva-Fortuny 2011; Everis 2004, S. 58f.). Beispielhafte Ursachen für falsche oder unzureichende Kühlung sind in Abbildung 2 dargestellt.

Abweichungen von der Solltemperatur (4 bis 7°C) können das Pflanzengewebe schädigen, die pflanzliche Atmung steigern, Kondensatbildung verursachen, die Wachstumsbedingungen für (pa-



**Abb. 2: Mögliche Unterbrechungen der Kühlkette beim Vertrieb von Fresh-Cut-Erzeugnissen**

Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung von freepik/Vectors Market/Lucy G/EpicCoders von <http://www.flaticon.com>

thogene) Mikroorganismen verbessern und damit die Qualität und Sicherheit der Produkte maßgeblich beeinflussen.

Neben teilweise unzureichender Kenntnisse dieser Besonderheiten von Fresh-Cut-Erzeugnissen seitens Lagerpersonal, Transporteuren und Verkaufspersonal stellt auch mangelnde Initiative des Handels zur Verbraucherinformation eine entscheidende Schwachstelle dar: Die Konkurrenz ist groß, und so stehen eine attraktive Präsentation und Verpackung im Vordergrund. Hinweise auf die notwendige Kühltemperatur und eine Empfehlung zum Waschen vor dem Verzehr werden nur sehr klein abgedruckt, oder fehlen gänzlich. Sog. Indikator-Verpackungen, die Abweichungen vom zulässigen Temperaturniveau anzeigen, werden nicht nachgefragt, da die Produkte schon bei minimalen Kostensteigerungen unwirtschaftlich würden.

#### 4 Fazit und politischer Handlungsbedarf

Hersteller von Fresh-Cut-Erzeugnissen kontrollieren bereits intensiv Rohwarenqualität und Hygienestandards ihrer Produktion und erfreuen

sich anhaltend steigender Nachfrage. Sie können jedoch den Risiken entlang der Warenketten noch besser durch Entkeimungsverfahren und gezielt eingesetztes mikrobielles Monitoring begegnen. Neben o. g. Maßnahmen sollte die Nachverfolgung der Waren bis zum Point of Sale vereinfacht werden. Dies würde den Produzenten helfen, ein nachsorgendes Qualitätsmonitoring durchzuführen und klare Verantwortlichkeiten bei Unterbrechungen der Kühlkette zu benennen. Auch ein interviewtes Handelsunternehmen äußerte Interesse an einem Qualitätscheck am Point of Sale. Dieses könnte jedoch die daraus resultierende Preissteigerung, z. B. für Indikatorverpackungen, im Alleingang kaum tragen, ohne Marktanteile zu verlieren. Entsprechende Vorgaben müssten von Seiten der Gesetzgeber für den gesamten Fresh-Cut-Markt erfolgen. Gleiches gilt für deutlichere Kühlhinweise und Waschempfehlungen. In welcher Form sich schließlich jene Maßnahmen im Spannungsfeld von Technik und Gesellschaft etablieren werden, ist u. a. von der Verbrauchervernehmung abhängig. Ein gesteigertes Sicherheitsgefühl könnte durch Skepsis gegenüber den Technologien und ihren (vermeintlichen) Nebenwirkungen gedämpft werden.

## Anmerkungen

- 1) SAFEFRESH wurde von Oktober 2012 bis September 2015 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Forschung für die Zivile Sicherheit“ gefördert. Die Erforschung dieser Thematik erfolgte in einem Verbund aus drei Forschungseinrichtungen (Fraunhofer IVV, Leibniz ATB, Leibniz INP) gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wirtschaft (Löhrke GmbH, RIPAC LABOR GmbH, Gartenfrisch Jung, Neoplas GmbH und inter 3 GmbH).
- 2) Zum methodischen Vorgehen bei System-, Sensitivitäts- und Szenarioanalyse für die Sicherheit komplexer Systeme siehe z. B. Dierich 2013.
- 3) HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points; GAP: Good Agricultural Practice; GMP: Good Manufacturing Practice

## Literatur

- Appel, B.; Böl, G-F.; Greiner, M. et al.*, 2011: EHEC-Ausbruch 2011. Aufklärung des Ausbruchs entlang der Lebensmittelkette. In: BfR Wissenschaft 4 (2011); <http://www.bfr.bund.de/cm/350/ehec-ausbruch-2011-aufklaerung-des-ausbruchs-entlang-der-lebensmittelkette.pdf> (download 8.7.16)
- Dierich, A.*, 2013: Was? Wann? Wo? Wie bitte!? Risiko und Sicherheit in sektorübergreifenden Ketten, In: Schön, S.; Mohajeri, S.; Dierkes, M. (Hg.): Machen Kläranlagen glücklich? Ein Panorama grenzüberschreitender Infrastrukturforschung. Berlin
- Doyle, M.P.; Erickson, M.C.*, 2008: Summer Meeting 2007 – The Problems with Fresh Produce: An Overview. Review Article. In: Journal of Applied Microbiology 105/2 (2008), S. 317–330
- Everis, L.*, 2004: Risks of Pathogens in Ready-to-eat Fruits, Vegetables, and Salads Through the Production Process. Review No. 44. Campden & Chorleywood Food Research Association. Gloucestershire
- Florkowski, W.J.; Shewfelt, R.L.; Brueckner, B. et al. (Hg.)*, 2009: Postharvest Handling: A Systems Approach. San Diego, CA
- Fröhling, A.; Erhard, M.; Muranyi, P. et al.*, 2015: Schnelle Identifizierung von Mikroorganismen mittels MALDI-TOF MS. In: Landtechnik. 70/2 (2015), S. 25–30
- Kramer, B.; Wunderlich, J.; Muranyi, P.*, 2015: Pulsed Light Decontamination of Endive Salad and Mung Bean Sprouts and Impact on Color and Respiration Activity. In: Journal of Food Protection 78/2 (2015), S. 340–348

*Martin-Belloso, O.; Soliva-Fortuny, R. (Hg.)*, 2011: Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing. Boca Raton, FL

*Schnabel, U.; Sydow, D.; Schlüter, O. et al.*, 2015: Decontamination of Fresh-Cut Iceberg Lettuce and Fresh Mung Bean Sprouts by Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma Processed Water (PPW). In: Modern Agricultural Science and Technology 1/1 (2015), S. 23–39

## Kontakt

Axel Dierich  
inter 3 GmbH Institut für Ressourcenmanagement  
Otto-Suhr-Allee 59, 10585 Berlin  
Tel: +49 30-34 34 74 49  
E-Mail: [dierich@inter3.de](mailto:dierich@inter3.de)  
Internet: <http://www.inter3.de>

Dr.-Ing. Peter Muranyi  
Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (FhG-IVV)  
Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161-49 16 29  
E-Mail: [peter.muranyi@ivv.fraunhofer.de](mailto:peter.muranyi@ivv.fraunhofer.de)  
Internet: <http://www.ivv.fraunhofer.de>

« »