Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 89 (1998)

Heft: 2

Artikel: Lebensmittelmikrobiologie als mikrobielle Ökologie = Food microbiology as microbial ecology

Autor: Penseyres, Jacques-Henri

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983142

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 89, 219–249 (1998)

Lebensmittelmikrobiologie als mikrobielle Ökologie*

Food Microbiology as Microbial Ecology

Key words: Microbial ecology, Contamination, Growth factors, HACCP, Predictive microbiology

Jacques-Henri Penseyres
Laboratoire agroalimentaire fribourgeois, Posieux

Problemstellung und Einführung

Die *Lebensmittelmikrobiologie* hat das Studium der auf und in Lebensmitteln vorkommenden Mikroorganismen zum Ziel. Dazu gehört der Gewinn von Erkenntnissen über Art, Anzahl, Herkunft und Verbreitung dieser Organismen sowie über ihre morphologischen und physiologischen Eigenschaften und die vorteilhaften und schädlichen Wirkungen, die sich daraus für Lebensmittel und Konsumenten ergeben (15/S. 1).

Lebensmittel sind Teile unserer Umwelt, und somit ist die Lebensmittelmikrobiologie als Teil der Umweltmikrobiologie und der Umwelthygiene zu betrachten. Damit steht sie einerseits in engem Zusammenhang mit der *mikrobiellen Ökologie*, die sich mit dem Studium der Beziehungen zwischen verschiedenen Mikroorganismen, zwischen Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren und zwischen Mikroorganismen und ihrer Umgebung auseinandersetzt, andererseits auch mit der *mikrobiellen Biochemie*, zu deren Inhalt die Erforschung der mikrobiell beeinflussten chemischen, enzymatisch oder nicht enzymatisch katalysierten Reaktionen und deren Kinetik gehört (1/S. 1).

Die schweizerische Gesetzgebung zählt zu den Mikroorganismen die Viren, Bakterien, Hefen, Schimmelpilze und parasitären Protozoen (35).

Obschon Viren und parasitäre Protozoen angesichts der vorhandenen fäkal-oralen Kreisläufe und wegen ihrer oft ernsthaften klinischen Auswirkungen ein lebensmittelhygienisch wichtiges Thema darstellen (89–91), sind im Zusammenhang mit der vorliegenden Problemstellung jedoch in erster Linie Bakterien, Hefen und Schimmelpilze von Bedeutung, weil das Lebensmittel für sie nicht nur ein Vehikel,

* Vortrag gehalten an der 30. Arbeitstagung der Schweiz. Gesellschaft für Lebensmittelhygiene, Zürich, 20. November 1997

sondern einen eigentlichen Lebensraum darstellt, wo sie sich entsprechend der «Umgebungsbedingungen» vermehren und gegebenenfalls Toxine bilden.

In diesem Sinne dürfen wir Mikroorganismen und die sie beherbergenden Lebensmittel als *ökologisches System* betrachten. Tatsächlich entspricht ein solches System ohne weitere Einschränkungen der üblichen Definition eines beliebigen, von pflanzlichen und tierischen Organismen bewohnten ökologischen Systems (Ökosystem), worunter wir ein strukturiertes Ganzes verstehen, das aus einer *Biozönose* (biologische Lebensgemeinschaft) und dem entsprechenden *Biotop* besteht (3/S. 177). Als *ökologische Nische* (engl. ecological niche) bezeichnen wir einen durch eine Spezies besetzten Teil des Ökosystems, der sich durch den Ernährungsmodus der betreffenden Spezies und deren Beziehungen zu den anderen Spezies charakterisieren lässt (3/S. 370).

Die Summe aller möglichen Ökosysteme unseres Planeten, also der Bereich, wo Leben möglich ist, entspricht der *Biosphäre*. Diese beschränkt sich allerdings auf den obersten Teil der Erdkruste (*Litho- und Hydrosphäre*) und den untersten Teil der *Atmosphäre* (1/S. 14). 1988 waren etwa 1000 Viren, 4760 prokaryotische Mikroorganismen, 46 983 Pilze, 26 900 eukaryotische Algen, 248 428 höhere Pflanzen, 30 800 Protozoen, 989 761 Wirbellose und 43 853 Wirbeltiere, insgesamt also 1 392 485 Arten und Bewohner der Biosphäre in der Literatur beschrieben. Dabei sind die Mikroorganismen, und vor allem die Bakterien, die ubiquitärsten Lebewesen der Biosphäre. Diese ubiquitäre Verteilung entspricht einer ausgesprochenen mikrobiellen Diversität, die als Voraussetzung für das «Überleben» der Biosphäre angesehen werden muss (92).

Mikroorganismen sind in zahlreichen Sedimentgesteinen bis auf eine Tiefe von mehreren hundert Metern nachgewiesen worden (36), in Grundwasser bis 3500 Meter tief (37). In der Tiefe der Erdkruste sind Temperatur, Wasser und Nährstoffe die limitierenden Faktoren für das Bakterienwachstum (1/S. 14).

Ungleich der Lithosphäre ist die Hydrosphäre in allen Tiefen mit Leben besiedelt, sogar bis auf 11 000 Meter, der Tiefe des Marianen-Grabens. Die Ozeane decken 70% der Erdoberfäche und sind ein Habitat für äusserst verschiedene Lebensformen, von den grössten bis hin zu den kleinsten, worunter auch das Bakterioplankton (1/S. 15, 1/S. 67).

In der Atmosphäre sind lebende Mikroorganismen noch auf einer beträchtlichen Höhe (48 bis 77 km) über der Erdoberfläche nachgewiesen worden. Wegen letaler Strahlungsenergie und mangels genügend Wasser und Nährstoffen ist allerdings in solchen Höhen eine Vermehrung von Mikroorganismen wenig wahrscheinlich (1/S. 15, 15/S. 2).

Die aussergewöhnliche Anpassungsfähigkeit der Bakterien an extreme Lebensbedingungen kann in der Lebensmittelindustrie oft zu unerwarteten Problemen führen (15/S. 2). Es gibt in der freien Natur Bakterien, die z. B. Druckverhältnisse von bis zu 100 Atmosphären (15/S. 1), Temperaturen von bis zu 250 °C (42), chemisch hochgiftige Umgebungen wie 1-n Schwefelsäure tolerieren (15/S. 2, 14/S. 99).

Den Mikroorganismen fällt im Zusammenhang mit der Umwelthygiene und damit auch bezüglich der Lebensmittelhygiene eine entscheidende Rolle zu. Sie

beteiligen sich wie die pflanzlichen und tierischen Organismen an den verschiedenen *Stoffkreisläufen* (Kohlenstoff-, Phosphor-, Stickstoff-, Schwefel- und Wasserkreislauf). Stoffkreisläufe sind ein Charakteristikum von Ökosystemen (21/S. 16). Unterschiedliche Organismengruppen nischen sich in die verschiedenen Ernährungs- und Trophiestufen eines Ökosystems ein. Die Pflanzen fungieren als *Primärproduzenten*, Tiere und Mensch als *Konsumenten* und die Mikroorganismen als *Destruenten* (17/S. 9, 1/S. 132). Unter den Mikroorganismen ist der Anteil pathogener Arten verhältnismässig klein, leben doch die meisten Bakterien und Pilze als *Saprophyten*. Saprophytismus (griech. sapròs = faul, morsch, welk) wird als Antonym zu Parasitismus gebraucht und bedeutet die Ernährung durch totes organisches Material, also einen Spezialfall der «heterotrophen» Lebensweise (5/S. 155ff.). Saprophyten spielen im Stoffkreislauf der Natur eine entscheidende Rolle, indem sie tierische und pflanzliche Reste abbauen, das heisst sämtliche organische Substanz (Kohlenhydrate, Proteine, Lipide usw.) unter Gewinnung von Energie (ATP) in anorganische Komponenten zerlegen (Nitrate, Sulfate, Phosphate usw.), die den «autotrophen» Organismen, vor allem den grünen Pflanzen, wieder als Nahrung dienen (17/S. 9, 21/S. 17, 21/S. 25). Das Leben auf dieser Erde würde in kurzer Zeit ersticken, wenn nicht die verschiedensten Bakterien und Pilze für die rasche Mineralisierung und Rezyklierung der sich ständig bildenden Biomasse (jährlich 10^{10} bis 10^{11} Tonnen Kohlenstoff) sorgen würden (92). Mikroorganismen haben im Gegensatz zur morphologisch-anatomischen Differenzierung der höheren Organismen im Laufe der Evolution eine ausgeprägte biochemische Differenzierung und *Vielfalt des Stoffwechsels* herausgebildet, worauf ihre Unentbehrlichkeit in den Stoffkreisläufen beruht (21/S. 25).

Obschon der mikrobielle Verderb von Lebensmitteln pflanzlicher oder tierischer Herkunft unerwünscht ist und jährlich immer noch unschätzbare Verluste verursacht, stellt er einen Teil der oben beschriebenen sinnvollen Stoffkreisläufe dar (14/S. 95).

Eiweissspaltende Keime verursachen eine Proteolyse, die sich durch Decarboxylierung und Desaminierung der Aminosäuren bis zur Fäulnis fortsetzen kann. Typische Fäulnisprodukte sind Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Amine, organische Säuren. Die Bildung grösserer Mengen potentiell toxischer Stoffwechsel- und Abbauprodukte durch eigentlich apathogene Mikroorganismen, wie z. B. «biogene Amine» durch Decarboxylierung von Aminosäuren, kann aber auch Lebensmittelvergiftungen verursachen. Typische Erkrankungen durch biogene Amine sind die sogenannte «*Cheese reaction*», die häufig auf hohe Tyraminkonzentrationen im Käse zurückzuführen ist, sowie die sogenannte *Makrelenvergiftung* (Scombrotoxizismus, Scombroid fish poisoning), eine Histaminvergiftung (14/S. 65, 14/S. 73, 18/S. 93, 80). Biogene Amine entstehen aber nicht nur beim Verderb eiweissreicher Lebensmittel, sondern auch regelmässig und in niedrigen Mengen in mikrobiell fermentierten, tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln. Sie sind offenbar für die unerwünschten Nebenwirkungen von Wein und Bier verantwortlich. Besonders aktive Decarboxylase- und Aminbildner sind bestimmte Stämme aus den *Enterobacteriaceae* und den Enterokokken sowie *Bacillus*-, *Clostridium*- und *Pseudomonas spp*. (14/S. 65, 18/S. 93ff., 80).

Fette sind Triglyceride, die vorwiegend durch lipolytische Pilze sowie durch bestimmte Hefen und Bakterien mit Hilfe extrazellulärer Lipasen hydrolytisch gespalten werden, wobei die entstehenden freien Fettsäuren massgeblich für Ranzigkeit, Fremdaroma und Säuerung beim Verderb fetthaltiger Lebensmittel verantwortlich sind. Polysaccharide (Stärke, Glykogen) werden enzymatisch zu einem Gemisch aus kürzerkettigen Oligo-, Di- und Monosacchariden abgebaut. Beim Verderb stärke- und zuckerhaltiger Lebensmittel können Schleime (Dextran, Lävan) und verschiedenartige Gärprodukte wie Gas (CO_2, H_2), Ethanol, Milchsäure, Essigsäure, Fettsäuren (z.B. Buttersäure) gebildet werden (14/S. 22, 18/S. 105). Typisch ist der Verderb von Brot durch Schimmelpilze und durch *Bacillus*-Arten. *Bacillus subtilis* (evtl. auch *B. licheniformis*) verursacht durch hochaktive proteolytische und amylolytische Enzyme das Fadenziehen des Brotes. Die Schleimstoffbildung erfolgt durch Biosynthese von Polysacchariden (aus Stärke über Zucker als Zwischenstufe) sowie von Polypeptiden. Die spezifischen unangenehmen Geruchs- und Geschmacksstoffe des fadenziehenden Brotes werden v. a. auf Diacetyl, Acetoin, Acetaldehyd und Isopentanal zurückgeführt (9/S. 294).

Ein weiterer Ausdruck metabolischer Vielfalt ist die Beziehung der Mikroorganismen zum Luftsauerstoff. Entwicklungsgeschichtlich gehen die anaeroben Bakterien den aeroben voraus, waren es doch die Cyanobakterien, die als erste Bewohner unseres Planeten vor drei Milliarden Jahren Sauerstoff als Abfall produzierten und somit für die Bildung der sauerstoffhaltigen Atmosphäre verantwortlich gemacht werden können (2, 92). Aerobe Mikroorganismen (Pilze und zahlreiche Bakterien) benötigen für ihren Atmungsstoffwechsel Sauerstoff als Elektronenakzeptor, wogegen den fakultativ oder obligat anaeroben Lebensweisen unterschiedliche Elektronenakzeptoren, wie NO_3^-, SO_4^{2-}, CO_2, organische Stoffe, entsprechen (21/S. 26). Mit der Anreicherung des Sauerstoffs in der Atmosphäre haben sich biologische Katalysatoren und Moleküle entwickelt, die einerseits den Abbau der äusserst toxischen Superoxid-Radikale (O_2^-) und andererseits bei der Oxidation organischer Substanz durch den Luftsauerstoff den Elektronentransport und die Speicherung der dabei freiwerdenden Energie in Form von ATP gewährleisten (1/S. 30, 7/S. 105, 38).

Während die schädlichen Wirkungen der Mikroorganismen allgemein bekannt sind, werden ihre nützlichen Funktionen gewöhnlich unterschätzt. Mikroorganismen sind dank ihrer biochemischen Viefalt auch in der Lage, bei Abwasserreinigung, Bodensanierung und Luftreinigung wichtige Funktionen zu übernehmen. Die Bedeutung der Mikroorganismen in den Stoffwechselkreisläufen beschränkt sich nicht auf ihr Abbaupotential. Ihre Syntheseleistungen sind vor allem durch symbiontische Wechselwirkungen mit Pflanzen für die Primärproduktion von Bedeutung, und in der biotechnologischen Erschliessung nachwachsender Rohstoffe haben die mikrobiellen Enzyme eine Schlüsselrolle inne (21/S. 17). Mikroorganismen katalysieren dank ihrer Enzyme an einer Fülle von Substanzen in höchst spezifischer Weise Oxidationen, Hydrierungen, Hydrolysen, Veresterungen, Kondensationen, Methylierungen, Decarboxylierungen, Wasserabspaltungen, Desaminierungen, Aminierungen und andere Reaktionen. Diese biologischen Umwandlungen verlaufen zudem noch stereospezifisch (5/S. 277). In seinen Arbeiten über

die molekulare Disymmetrie hatte *Louis Pasteur* (1822–1895) den Nachweis erbringen können, dass nur D-Tartrat (rechtsdrehende Form der Weinsäure, bezogen auf die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes) vergoren werden kann, und zwar durch winzige, mikroskopisch nachweisbare Organismen (20/S. 24). Logischerweise widmet sich Pasteur aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse dem eingehenden Studium der Gärungen oder Fermentationen. Der Ausdruck «*Fermentation*» (lat. fervere = kochen, brodeln) ist sehr alt und war lange schlecht definiert, meinte man doch damit alle Arten des Verderbs organischer Substanzen. Die Etymologie verweist auf die Bildung von CO_2, wodurch fermentierende Flüssigkeiten zum Schäumen gebracht werden (20/S. 45). Als Gärung oder Fermentation bezeichnet man die Übertragung des Wasserstoffes auf organische Akzeptoren im Laufe des Intermediärstoffwechsels unter Ausschluss von Sauerstoff. Dabei entstehen Produkte wie Kohlendioxid, Ethanol, Milchsäure, Essigsäure, Ameisensäure, Buttersäure, Propionsäure und andere organische Säuren. Weil diese Stoffe noch energetisch potentiell nutzbar sind, ist der Wirkungsgrad dieser Prozesse schlechter als bei der Atmung. Bei der alkoholischen Gärung bilden fakultative Anaerobier (z. B. Hefen der Gattung *Saccharomyces*) aus verschiedenen Zuckern, vorrangig Glucose, unter anaeroben Bedingungen Ethanol und CO_2 (7/S. 106).

Bei der Milchsäuregärung entsteht als wichtigstes Endprodukt Milchsäure bzw. Laktat. Man unterscheidet *homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien*. Homofermentative Milchsäurebakterien bilden zu über 90% reine D(–)-, L(+)- oder DL-Milchsäure (z. B. *Lactococcus lactis ssp. lactis, Lactobacillus delbrueckii, Lactobacillus helveticus, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*). Den heterofermentativen Milchsäurebakterien fehlen die Hauptenzyme des Fructose-1,6-diphosphat(FDP)-Weges, weshalb sie neben dem Hauptprodukt Milchsäure auch noch bedeutende Anteile an Ethanol und/oder Essigsäure bilden (5/S. 229, 7/S. 106).

Interessanterweise hatte sich schon *Charles Cagniard de Latour* (1777–1859) mit der alkoholischen Gärung der Bierwürze auseinandergesetzt und dabei festgestellt, dass es sich bei der für die alkoholische Gärung verantwortlichen Bierhefe um einen Mikroorganismus handelt. Cagniard de Latour hatte sogar die Hypothese aufgestellt, dass die Fermentation nur eine Folge der Vermehrung («végétation») dieses Mikroorganismus sein konnte. Aber diese kritischen Feststellungen hatten es nicht vermocht, die damaligen Ansichten über die *Spontangeneration* in Frage zu stellen, um so weniger als *Justus von Liebig* (1803–1873) jegliches Hinterfragen der Spontangeneration energisch bekämpfte, weil er selber, wie andere Zeitgenossen, überzeugt war, dass alle vitalen Prozesse chemisch zu erklären seien, so auch die Fermentationen und überhaupt der Verderb organischer Substanzen (20/S. 46ff).

Erst Pasteur vermochte durch seine nimmermüde Forschungstätigkeit die Doktrin der Spontangeneration zu entkräften (39, 40). Im berühmten Vortrag, den er am 7. April 1864 im Rahmen der wissenschaftlichen Abende der Sorbonne hält, sagt er: «Das Leben ist der Keim, der Keim ist das Leben. Die Doktrin der *generatio spontanea* wird nach dem tödlichen Schlag, den sie durch ein einfaches Experiment erlitten hat, nie auferstehen.» (41/S. 158)

Nicht immer sind die eben beschriebenen Stoffwechselaktivitäten unerwünscht. Manche Lebensmittel erhalten durch die Tätigkeit bestimmter Mikroben erst ihre charakteristische organoleptische Beschaffenheit (73, 77, 78). Dies gilt insbesondere für die teils jahrtausende alte, vorerst noch lange unbewusste Nutzung der Stoffwechselleistungen bei der Herstellung von alkoholischen Getränken, wie Wein und Bier (Sumer, Altägypten, Babylon), Backwaren, Sauerkraut (auch Silage in der Tierernährung) und Salzgurken, Milchprodukten, wie Butter, Joghurt und Käse, Fleischerzeugnissen, wie Rohwürste und Rohpökelerzeugnisse (Rohschinken, Rohessspeck, Bündner und Walliser Trockenfleisch). Diese bio-technologische Nutzung von Mikroorganismen für die Produktion von Lebensmitteln ist ein wichtiger Zweig der Lebensmittelmikrobiologie. Durch geduldige Selektion «wilder» Bakterien und Hefen aus organoleptisch gelungenen Produkten sind die sogenannten *Starterkulturen* entstanden, die sich eben durch besonders wertvolle Stoffwechselleistungen auszeichnen, welche die Eigenschaften der beimpften Lebensmittel prägen (8/S. 339ff., 63, 68, 108), wobei auch die Bildung von Aroma-, Geruchs- und Geschmacksstoffen (z. B. Geruch des frischen Brotes, Salamiaroma) durch lipolytische und proteolytische Aktivität gewisser Mikroorganismen, wie Mikrokokken, Hefen und Schimmelpilze, speziell zu erwähnen ist (8/S. 358, 9/S. 289, 43/S. 336, 77, 78). Starterkulturen (in der Milchverarbeitung als Säurewecker bekannt) werden mit dem Zweck der Lenkung erwünschter Reifeprozesse mit Beeinflussung von Geschmack, Aussehen, Konsistenz und Haltbarkeit eingesetzt.

Durch *gentechnische Eingriffe* lässt sich das angesprochene metabolische Potential womöglich noch verfeinern und verbessern, im Sinne nur erwünschter und gezielter stofflicher Umsetzungen (z. B. homofermentative, leistungs- und konkurrenzfähige Milchsäurebakterien). Es ist ferner nicht zu vergessen, dass Mikroorganismen in zunehmendem Masse auch industriell u. a. zur Herstellung von Antibiotika, Vitaminen, Enzymen, organischen Säuren, Lösungsmitteln eingesetzt werden. Dazu gehört auch die Eiweissproduktion aus grosstechnisch gezüchteten Mikroben (single cell protein). Solches Protein könnte möglicherweise in der Tierernährung, eventuell auch für die Verarbeitung zu Lebensmitteln, genutzt werden (14/S. 22ff., 93, 94/S. 192).

Mikrobielle Kontamination

Die Bakterien besetzen die Schnittstelle der pflanzlichen und tierischen Lebewesen mit der Aussenwelt, besetzen und kolonisieren Wurzeln, Stengel, Blätter und Früchte der Pflanzen, Haut und Schleimhäute der Tiere und Menschen (2), wogegen die «inneren» Gewebe gesunder Pflanzen und Tiere im allgemeinen keimfrei oder zumindest äusserst keimarm bleiben (5/S2, 43/S. 175). Die *Tiefenkontamination* des Fleisches beträgt bei gesunden unter besten Voraussetzungen geschlachteten Tieren höchstens 10^{-2} bis 10^{-1} pro Gramm (95/S. 132).

Mittels der vom dänischen Arzt *Hans Christian Joachim Gram* (1853–1938) beschriebenen *Gramfärbung* können wir die erwähnten Keime in grampositive,

violette und gramnegative, rote, unterteilen. Diese an sich dem Uneingeweihten banal anmutende färberisch-technisch bedingte Unterscheidung zweier grosser Bakteriengruppen lässt sich aber mit scharfen Gegensätzen bezüglich Zellwandaufbau, Stoffwechsel und Lebensbedingungen in Zusammenhang bringen (2, 96/S. 17). Stark vereinfachend ist es möglich zu behaupten, dass sich die grampositiven Keime in einem trockenen, eher kühlen Mikroklima, im Staub oder an der Sonne wohlfühlen: sie sind also typische Bewohner der Oberflächen, auch derjenigen unseres Körpers. Die gramnegativen Keime lieben ein eher warmes und feuchtes Mikroklima: sie sind die typischen Bewohner unseres Darmes und damit die Hauptverantwortlichen der so gefürchteten fäkalen Kontamination. Potentiell gefährliche Fremdkeime transitieren, z.B. über den Darm, manchmal einen leichten Durchfall verursachend, oder sie erobern angesichts ihrer Anzahl oder Virulenz eine ökologische Nische, vielleicht auch eine durch Antibiotikatherapie freigewordene. Nach entsprechender Adhäsion und Vermehrung werden die Eroberer teils vorübergehend, teils über längere Zeit (Dauerausscheider), kontinuierlich oder intermittierend, in einer mehr oder weniger grossen Anzahl massiv ausgeschieden und bedrohen neue Opfer (2).

Unter dem Begriff der *mikrobiellen Kontamination* verstehen wir alle Vorgänge, durch die es zur Anwesenheit von Mikroorganismen in und/oder auf Lebensmitteln kommt. Wir unterscheiden *unerwünschte*, *tolerierbare* und *erwünschte Kontaminanten* (43/S. 173). Zu den unerwünschten Kontaminanten gehören krankmachende (pathogene) Keime mit dem Risiko der Gesundheitsschädigung des Menschen und Keime mit schädigender enzymatischer Aktivität (Verderbnisflora) mit dem Risiko der Qualitätsminderung durch frühzeitig einsetzenden Verderb (herabgesetzte Haltbarkeit) und eventuell zusätzlich mit dem Risiko der Gesundheitsschädigung (Infektion, Intoxikation, Toxiinfektion). Tolerierbare Keime sind solche, die eine äusserst geringe Stoffwechseltätigkeit entfalten und dabei weder ein Gesundheits- noch ein Verderbsrisiko darstellen. Erwünschte Kontaminanten beeinflussen aufgrund ihrer Stoffwechselleistungen Rohmaterialien oder Erzeugnisse daraus in vorteilhafter Weise und tragen damit wesentlich zur Sicherung bzw. Verbesserung der Qualität bei. Sie sind Bestandteil der natürlichen Mikroflora oder werden dem Lebensmittel als Starterkulturen zugefügt.

Die Lebensmittelhygiene soll im wesentlichen dazu beitragen, unerwünschte mikrobielle Kontaminationen zu verhüten. Grundbedingung dazu ist jedoch die Kenntnis der *Kontaminationsquellen* (Ökologie) und *Kontaminationswege* (Betriebshygiene und Verarbeitungstechnologie), weil dadurch das *Kontaminationsrisiko* bedingt wird (52).

Der *Erdboden* besitzt besonders in den oberen, an organischem Material reichen Schichten, dichte Mikrobenpopulationen. Je Gramm Erdboden können 10^6–10^9 Bakterienzellen und 10^5 Pilzelemente (Myzelteile und Sporen) vorhanden sein. Bezüglich Biomasse enthält Waldboden 40 kg/ha Bakterien und 400 kg/ha Pilze (Zelltrockenmasse), wobei die grosse Mycelmasse auf die Bedeutung der Pilze hinweist. Besonders häufig findet man aerobe und anaerobe Sporenbildner (*Bacillus spp.* und *Clostridium spp.*), Aktinomyzeten und Schimmelpilze. Der Boden ist vor allem für Pflanzenteile (Gemüse, Gewürze) eine bedeutende Kontaminationsquelle

(Risiko von *Clostridium botulinum* in hausgemachten Gemüsekonserven). Man sollte daran denken, dass Staub und Schmutz stets auch mikrobenbeladene Erdbodenteilchen enthalten (44/S. 26, 21/S. 26).

Mikroorganismen kommen in allen natürlichen *Gewässern* vor. In sauberem, nährstoffarmem Quell- und Grundwasser ist der Keimgehalt gering (etwa bis 10^2 pro ml). Der Keimgehalt von Oberflächengewässern fällt entsprechend der Schmutz- und Abwasserbelastung aus. Im Wasser befinden sich bevorzugt bewegliche, psychrotrophe Keimarten (Pseudomonaden, Vibrionen und andere gramnegative Bakterien). Der ordnungsgemässen Aufbereitung von *Trinkwasser* kommt eine grosse lebensmittelhygienische Bedeutung zu. Wasser wird vielen Lebensmitteln zugesetzt bzw. kommt mit Lebensmitteln bei der Gewinnung und Herstellung in Kontakt (44/S. 26). Entsprechend den Gesetzesvorschriften darf Trinkwasser an der Quelle nicht mehr als 100 aerobe mesophile Keime pro 100 Milliliter enthalten, und *Escherichia coli*, wie *Enterokokken*, dürfen in 100 Milliliter nicht nachweisbar sein (47).

Die *Luft* spielt als Ursache für die Lebensmittelkontamination eine untergeordnete Rolle. In Abhängigkeit vom Staubgehalt und von der Art des Staubes kommen etwa bis 10^3 Keime pro m^3 vor. Dort, wo sich der Staub aus der Luft auf Oberflächen niederschlägt, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, kann er zu einer wichtigen Kontaminationsquelle werden. Künstlich erzeugte Luftströme (bei Kühl- und Klimaanlagen) können Lebensmittel stärker kontaminieren, wenn der Luftstrom keimhaltig und feucht ist. Bei hoher Luftfeuchtigkeit können auf diesem Wege Schimmelpilzsporen Oberflächen permanent kontaminieren! In staubhaltiger Luft kommen bevorzugt aerobe Sporenbildner in vegetativer oder versporter Form sowie Schimmelpilzsporen vor. Kleine Flüssigkeitströpfchen, die durch Aerosolbildung bei Niesen und Husten entstehen, können sich mit den darin enthaltenen Mikroben stundenlang in der Luft schwebend halten und durch die Luftbewegung über recht grosse Entfernungen transportiert werden (44/S. 27).

Abgesehen von den durch Bodenteile auf die *Pflanzen* gelangten Mikroorganismen sind häufig Laktobazillen, aerobe und anaerobe Sporenbildner, Schimmelpilzsporen, Mikrokokken, Flavobakterien und Hefen anzutreffen. Die Anzahl der Keime kann in Abhängigkeit von der Pflanzenart, dem Standort und dem Alter der Pflanzen stark variieren (44/S. 27). Rebenblätter sind z. B. natürlicherweise mit Milchsäurebakterien kontaminiert, wovon nur wenige homofermentativ (*Pediococcus spp.*), die meisten jedoch heterofermentativ (*Leuconostoc spp.* und *Lactobacillus spp.*) sind (48/S. 30). *Lactobacillus casei ssp. casei* und *L. plantarum* verursachen eine Weinkrankheit, die man Milchsäurestich nennt und die sich durch einen unangenehmen Diacetyl- und Acetoingeschmack auszeichnet (7/S. 350). In diesem Zusammenhang ist es wertvoll, sich daran zu erinnern, dass Louis Pasteur 1863 von Napoleon III. den Auftrag erhalten hatte, sich dem Studium der Weinkrankheiten zu widmen. In der Tat ertrugen die Weine damals längere Transporte kaum und unterlagen dabei raschem Verderb durch verschiedene Kontaminanten. Pasteur schlug zur vorzeitigen Beseitigung dieser «mikrobiellen Parasiten» eine Erhitzung des Weines auf eine Temperatur zwischen 60 und 100 °C, also eine *Pasteurisation*, vor (20/S. 176).

Gewürze werden wegen ihres natürlichen Gehaltes an Geschmacks- und Geruchsstoffen als Naturprodukte zu einem erheblichen Teil aus tropischen und subtropischen Ländern der sogenannten dritten Welt importiert, wo das überwiegend feucht-heisse Klima, zumeist einfachste Produktionsbedingungen und eine oftmals unzureichende Ausbildung der Bauern und Plantagearbeiter für eine hygienisch bedenkliche Beschaffenheit sorgen (59). So wurden durch das Landesuntersuchungsamt für das Gesundheitswesen Nordbayern mehrere hundert Proben Gewürze und gewürzte Chips auf Salmonellen untersucht und zu 5,4% bzw. 10,1% als positiv befunden (64).

Bei den *Tieren* befinden sich Mikroorganismen normalerweise überall dort, wo ein unmittelbarer Kontakt zur Umwelt besteht: Haut und Schleimhäute der Atem- und Verdauungswege. Im Pansensaft der Wiederkäuer findet man mehr als 10^9 Keime pro Milliliter. Der Darminhalt stellt eine besonders konzentrierte Kontaminationsquelle dar (10^{10} bis 10^{12} Keime pro Gramm Darminhalt im Dickdarm). Die Darmflora besteht überwiegend aus obligat und fakultativ anaeroben Bakterien (*Bacteroides, Fusobacterium, Eubacterium, Bifidobacterium, Peptococcus, Clostridium, Lactobacillus, Streptococcus, Staphylococcus, Enterobacteriaceae* [*E. coli*!], Hefen) (44/S. 28). Im Rahmen einer epidemiologischen Untersuchung wurden Kotproben verschiedener Nutztierarten auf Listerien untersucht. Rund 36% der Proben waren *Listeria spp.*-positiv, wovon 46% mit *Listeria monocytogenes*. Die in Europa im Zusammenhang mit Listeriose beim Menschen am häufigsten isolierten *L. monocytogenes*-Serovaren 4b, 1/2a und 1/2b wurden auch in diesen Untersuchungen aus *L. monocytogenes*-haltigen Kot- und Lebensmittelproben tierischer Herkunft in 82,3 bzw. 68% der Fälle nachgewiesen (51).

Der *Mensch* spielt bezüglich der mikrobiellen Kontamination von Lebensmitteln eine wichtige Rolle, wobei Mikroorganismen besonders häufig durch die Haut, Sekrettröpfchen aus der Mund- oder Nasenhöhle (zahlreiche gesunde Staphylokokken-Träger!) und fäkale Verunreinigungen, unter anderem bei mangelnder persönlicher Hygiene (gesunde Salmonellenträger, Dauerausscheider!), auf Lebensmittel übertragen werden. Zur normalen Hautflora des Menschen gehören Mikrokokken, Staphylokokken, Pseudomonaden, Anaerobier, *Acinetobacter*, Hefen usw. Die Kontaminationsdichte ist je nach Körperregion und je nach Sekret verschieden: Kopfhaut 10^6, Stirn 10^4, Arme und Handflächen 10^2 bis 10^3 KBE/cm^2, Speichel 10^7 bis 10^9 und Nasensekret 10^3 bis 10^4 KBE/ml. Händewaschen führt zu einer Verminderung der Keimzahl um ca. 1 bis 1,5 Zehnerpotenzen (44/S. 28).

Abschliessend sei gesagt, dass 10^9 Bakterienzellen etwa das Trockengewicht von 1 Milligramm haben. Eine Milliarde Bakterienzellen ist die Grössenordnung, die wir in 1 Gramm nährstoffreichem Boden und auch in 1 Milliliter Abwasser finden (21/S. 27).

Ausgehend von den eben geschilderten Lebensräumen sind Mikroorganismen stets auch auf den Oberflächen der unbelebten Umwelt anzutreffen, so auf Böden, Wänden, Decken, Arbeitsflächen in Räumen; Oberflächen von Geräten, Maschinen und weiteren Einrichtungsgegenständen. Während offensichtlich verschmutzte Objekte meist schon als lebensmittelhygienisch suspekt gelten, wird der Keimgehalt auf optisch sauberen Flächen häufig unterschätzt. Auch solche Flächen können

stark keimbelastet sein, wenn sie mit (ausgespülten) Lappen gereinigt werden; denn solche Lappen beherbergen nicht selten 10^8 bis 10^{10} Keime pro Gramm Gewebe. Dabei denke man auch unbedingt daran, dass *Verpackungsmaterialien* (Papier, Karton, Holz) oft viele Schimmelpilz- und Bakteriensporen beherbergen! Bei *Banknoten* und *Münzen* konnten Keimzahlen von 10^4 bis 10^7 KBE/cm^2 nachgewiesen werden (44/S. 29).

Wir unterscheiden verschiedene Kontaminationsformen. Die *primäre Kontamination* bezieht sich auf einen originären Keimgehalt, das heisst die Kontaminanten sind im Zeitpunkt der Lebensmittelgewinnung (Rohmaterialien!) bereits vorhanden. Typische Beispiele sind die Kontamination der Rohmilch durch Mastitiserreger (enterotoxinbildende *Staphylococcus aureus*-Stämme), die vertikal erfolgte Kontamination des Hühnereies durch *Salmonella enteritidis* oder die Kontamination des Fleisches infolge Bakteriämie oder sogar Sepsis. Untersuchungen über das Auftreten einer primären Kontamination bei normal geschlachteten Kühen haben gezeigt, dass Mastitiden und andere Organveränderungen offensichtlich einen Belastungsfaktor darstellen, der eine Bakteriämie und den prämortalen Keimanstieg im Fleisch fördert (66). Auch bei klinisch unauffälligen Schlachtschweinen konnte der Zusammenhang zwischen pathologisch-anatomischen Veränderungen und primärer Kontamination infolge prämortaler Belastung aufgezeigt werden (67).

Die *sekundäre Kontamination* ist die weitaus häufigste Form der Keimübertragung auf Lebensmittel. Sie kann direkt oder indirekt erfolgen und umfasst alle Kontaminationsmöglichkeiten, die ausserhalb des lebenden tierischen oder pflanzlichen Organismus bestehen. Die *Kreuzkontamination* ist eine sekundäre Kontamination, bei der Keime von einem kontaminierten Lebensmittel (z. B. mit Salmonellen) auf andere noch nicht kontaminierte Lebensmittel übertragen werden (meist indirekt). Untersuchungen an gesunden deutschen Schlachtschweinen ergaben eine durchschnittliche Salmonella-Nachweisrate von 1,7%, wobei in 27% aller untersuchten Lieferbetriebe salmonellapositive Tiere gefunden wurden, mit einer Nachweisrate von bis zu 65% der Tiere eines Betriebes (97).

Aus einer statistischen Auswertung der Meldungen über Untersuchungen auf Salmonellen bei landwirtschaftlichen Nutztieren durch das Bundesgesundheitsamt und das Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin in Berlin geht für die Jahre 1991 bis 1993 (insgesamt 744 890 Untersuchungen) hervor, dass bei 7,5% der Masthühnchen, 4,9% der Legehennen, 3,9% der Kälber und 1,9% der Schweine Salmonellen nachgewiesen wurden (50). Im Rahmen einer auf zwei Jahre angelegten Pilotstudie wurden mögliche Eintrags- und Kontaminationsquellen von Salmonellen bezüglich der Produktionslinie Schweinefleisch in verschiedenen Schlacht-, Zerlege- und Verarbeitungsbetrieben untersucht. 7% der 830 Schweinefaeces-Proben und 70% der 297 Weichseparatorenfleisch-Proben (mechanisch entsehntes Fleisch) waren *salmonella*positiv. Es konnte gezeigt werden, dass einige wenige salmonellapositive Bestände, die ihre Tiere diskontinuierlich liefern, in der Lage sind, die gesamte Produktionslinie eines Betriebes zu kontaminieren (Kontaminationskette), wobei Rohprodukte, bei denen technologische Schritte nicht zur Reduzierung der mikrobiellen Kontaminationsflora führen,

ein besonderes hygienisches Risiko darstellen (49). Diese Befunde weisen auf die Bedeutung eventueller Rechtsfolgen und die Notwendigkeit von Überwachungsmassnahmen im Zusammenhang mit Salmonellenvorkommen in Lebensmittelproduktionsstätten (69, 70) hin.

Ihre weitreichende Widerstandsfähigkeit erlaubt es den Salmonellen letztlich, einzigartigerweise die verschiedensten Standorte zu besiedeln. So wurde z. B. experimentell nachgewiesen, dass Salmonellen im Erdboden, je nach Jahreszeit, Feuchtigkeit und pH während bis zu 280 Tagen überleben (13/S. 437, 438). Auf natürlich kontaminierten Flaumfedern waren *Salmonella spp.*, in Polyethylenbeuteln und bei Zimmertemperatur aufbewahrt, 382 bis 1484 Tage überlebensfähig (13/S. 593). In unserer Umwelt bestehen Ketten und Kreisläufe, die zu einer laufenden Erneuerung der Kontamination der einzelnen Bereiche führen. Dieses Vielfaktorensystem ist durch die Erreger, die Wirte, die Reservoire, die Übertragungswege und schliesslich durch die Umwelt charakterisiert (Abb. 1). Die verschiedenen Faktoren interagieren und es bestehen eindeutige ökologische Zusammenhänge (58, 65). Dabei sollte man z. B. nie vergessen, dass Schädlinge immer ein besonderes Risiko darstellen, tragen doch Nager, Fliegen, Schaben verschiedenste Krankheitserreger, auch Salmonellen, mit sich herum (34). Futtersuchende Vögel, die von offen liegenden Abfällen der Lebensmittelproduktion angezogen werden, stellen für die betroffenen Produktionsbetriebe eine hygienische Belastung dar. So wurden aus dem Darminhalt mehrheitlich pathologisch-anatomisch unauffälliger Haustauben und Möwen, die auf einem Schlachthofgelände erlegt worden waren, in etwa 20 bis 40% der Fälle *Campylobacter spp.* und *Salmonella spp.* isoliert (53).

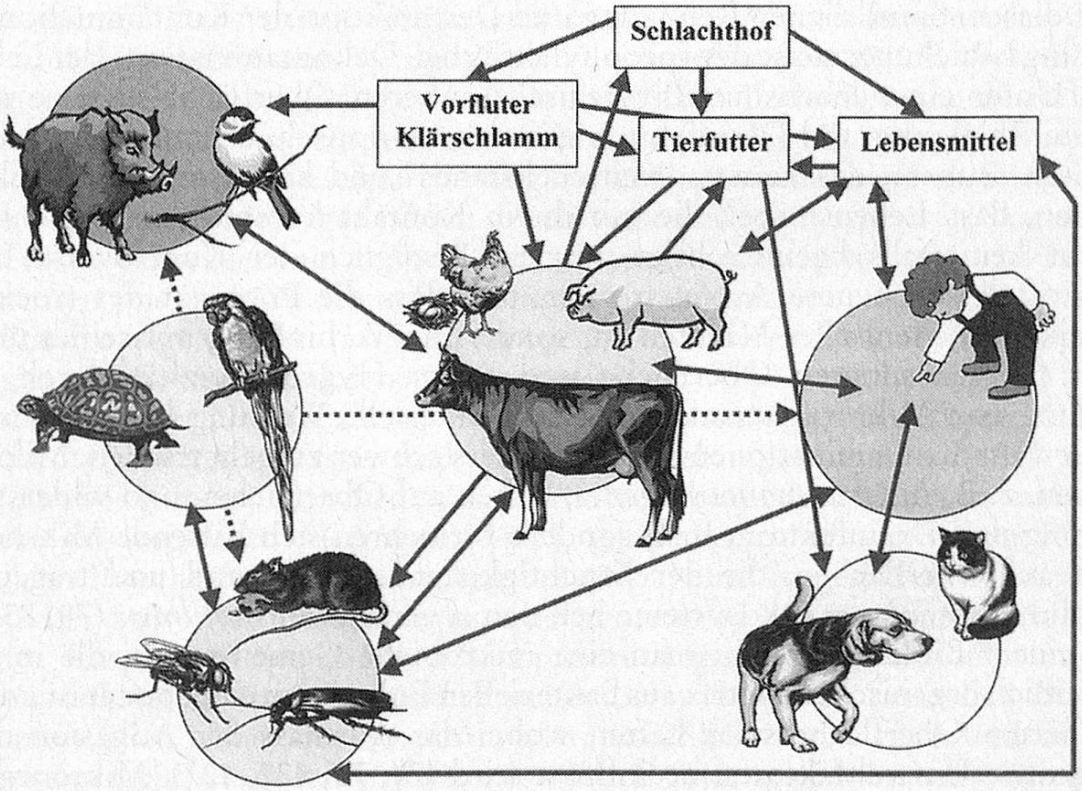

Abb. 1. Salmonellenzyklen als Vielfaktorensystem

Yersinia enterocolitica spielt in lebensmittelhygienischer Hinsicht eine wichtige Rolle, um so mehr wegen der Psychrotrophie des Erregers und dem regelmässigen Vorkommen des O:3-Serotypen beim Schwein (82, 84, 87, 88).

Unter *Dekontamination* versteht man die Befreiung der Lebensmittel und der Oberflächen (Lebensmittelkontakt) von Keimen bzw. einem Teil der Keimflora, vorwiegend durch technologische Prozesse (physikalische und chemische Methoden der Haltbarmachung) bzw. durch Reinigung und Desinfektion.

Schlachtkörper sind nach dem Schlachtprozess immer mehr oder weniger kontaminiert. Die Oberflächenkontamination der Schlachtkörper beträgt beim Rind durchschnittlich 10^2–10^4 Keime pro cm^2 (95/S. 132, 128/S. 22). Einerseits ergibt sich daraus die Notwendigkeit, nach zuverlässigen, einfachen und zeitsparenden Keimnachweismethoden (z. B. Abklatschmethoden, Biolumineszenzverfahren) zu suchen (98–103). Andererseits ist auch die Erforschung neuer Dekontaminationsmethoden der Schlachtkörper von Nutztieren und Geflügel von grösstem Interesse. So berichten verschiedene Autoren über die Möglichkeit der Dekontamination von Schlachtkörpern mittels manueller Reinigung (105), Behandlung durch elektrischen Strom (110, 118, 119), Wasserdampf (117), Heisswasserbesprühung (105, 117), Chlordioxid (120), Wasserstoffperoxid (105, 109), Essigsäure (105), Gluconsäure (114), Milchsäure (109), Trinatriumphosphat (105, 107, 109, 111–113) und Bakteriozine (115, 116), aber auch über die Möglichkeit, durch chemische Oberflächenbehandlung die Adhäsion von Kontaminanten, z. B. Salmonellen und *E. coli,* auf den Schlachtkörpern zu verhindern (99, 104, 123).

Reinigung und *Desinfektion* dienen der Dekontamination von belebten und unbelebten Gegenständen, die als Kontaminationsquellen in Frage kommen können. In diesem Sinne dienen Reinigung und Desinfektion der Kontaminationsverhinderung beziehungsweise der «prophylaktischen Dekontamination» der Lebensmittel. Unter einer lebensmittelhygienisch sauberen Oberfläche ist eine durch adäquate Reinigung und Desinfektion gewonnene optisch, chemisch und mikrobiologisch saubere, das heisst soweit rückstands- und keimarme Oberfläche zu verstehen, dass Lebensmittel, die mit ihr in Kontakt kommen, in hygienischer Hinsicht keinesfalls beeinträchtigt werden. Bezüglich der Kontroverse Holz-Kunststoff lassen neuere Arbeiten vermuten, dass die Porosität des trockenen Holzes kein hygienischer Nachteil ist, sondern in Verbindung mit seiner unvorstellbar grossen inneren Oberfläche und seiner Hygroskopizität durch Austrocknung von Mikroorganismen eine antibakterielle Wirkung haben kann (71, 121). Gewisse Kontaminationen sind besonders schwer zu beherrschen. Mikroorganismen, z. B. *Listeria monocytogenes*, haften auf Oberflächen und widerstehen Reinigung und Desinfektion. Insbesondere vermehren sich haftende Mikroorganismen auf Oberflächen, die der Feuchtigkeit ausgesetzt sind und tragen zur Ausbildung komplexer Ökosysteme bei, den sogenannten *Biofilmen* (79, 83, 85). Unter einem Biofilm versteht man eine mikrobielle Gemeinschaft, die in einer mehrheitlich organischen Matrix aus bakteriellen Polymeren eingebettet ist und auf einer inerten Oberfläche stark haftet, wobei das Ausmass der Adhäsion durch verschiedene Umweltfaktoren beeinflusst wird (74, 75, 122, 127). Mikroorganismen, die auf Flächen haften, sind nicht oder nur schlecht zählbar. Die Adhäsions-

kräfte, die sich sogar der mechanischen Reinigung entgegenstellen, leisten auch gegen die Probenahme zwecks Keimzählung ihren Widerstand. Adhärierende Bakterien unterscheiden sich aber ebenfalls in ihrem physiologischen Verhalten deutlich von planktonischen (freien) Zellen im selben Ökosystem und erst recht von Laborreinkulturen, und zwar hinsichtlich Wachstumsrate, Zellwandstruktur und -zusammensetzung, Immunogenität, Enzymaktivitäten und Empfindlichkeit gegenüber einer Reihe von antibakteriellen Substanzen (74). Anhand eines In-vitro-Systems konnte gezeigt werden, dass in monomikrobiellen Biofilmen (*Salmonella typhimurium, Pseudomonas fluorescens*) mit zunehmendem Alter des Biofilms einerseits die Desinfektionswirkung von Chlor abnimmt und andererseits nicht kultivierbare Formen auftreten, deren Anzahl mit der Wiederholung von Desinfektions-Kultur-Zyklen zunimmt. Diese Feststellungen deuten darauf hin, dass natürliche Biofilme in verschiedenen Bereichen der Lebensmittelherstellung als Folge der täglichen Einwirkung von Desinfektionsmitteln gestresste Bakterienformen (lebend, jedoch nicht kultivierbar) beherbergen (76). Interessant ist aber auch die Tatsache, dass chemisch gestresste Mikroorganismen, z. B. *L. monocytogenes*, hitzeresistenter werden, wahrscheinlich durch die Schutzwirkung sogenannter *Hitzeschockproteine* (124–126).

Rekontamination findet statt, wenn ein Lebensmittel nach dekontaminierender Behandlung erneut kontaminiert wird, z. B. pasteurisierte Milch beim Abfüllen.

Führen wir uns einige der genannten Zusammenhänge am Beispiel von *Clostridium botulinum* nochmals vor Augen. Voraussetzung zur Beurteilung der von verschiedenen Lebensmitteln ausgehenden potentiellen Botulismusgefahr ist die Kenntnis der Kontaminationsmöglichkeiten dieser Lebensmittel durch *Clostridium botulinum.* Das Ausmass der Kontamination hängt vor allem von der Verbreitung und Häufigkeit von *C. botulinum* in der Umwelt ab. *C. botulinum* ist allgemein in Böden vorhanden und oft als ubiquitärer Bodenbewohner beschrieben worden (31/S. 21). Seine tatsächliche Verbreitung in der Umwelt wird aber durch diese etwas pauschale Charakterisierung nur bedingt wiedergegeben. So ist interessanterweise in den sechziger Jahren durch verschiedene Autoren in Skandinavien (Dänemark, Schweden) ein hoher Kontaminationsgrad von Küsten- und Festlandsedimenten (bis zu 90% der untersuchten Proben) mit Sporen von *C. botulinum* Typ E aufgezeigt worden (31/S. 30), wogegen in anderen Gegenden Europas, von wenigen Ausnahmen abgesehen, durchwegs der Typ B vorherrscht (31/S. 28). Zahlreiche neuere Untersuchungen lassen *C. botulinum* Typ E weltweit als häufigsten Serotypen in Süsswasser und mariner Umgebung erscheinen (45/S. 210). *C. botulinum* Typ E-Sporen wurden unter anderem besonders häufig in vakuumverpackten norwegischen Heringen (44%), geräucherten schwedischen Heringen (13%), in Rauchaalen der Baltischen See (20%) und in gesalzenen Karpfen der Kaspischen See (63%) nachgewiesen, wogegen in nur 5% der geräucherten Karpfen aus der Kaspischen See (32/S. 57)! Epidemiologisch lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang mit Botulismusausbrüchen beim Menschen herstellen. So wurde in Skandinavien bisher der Botulismus hauptsächlich durch Fisch und Fischprodukte verursacht, die durch *C. botulinum* Typ E-Sporen kontaminiert waren (46/S. 87). Eine ähnliche Situation herrscht im Norden Kanadas vor, wo die Eingeborenen

(Inuiten) entsprechend ihrer Essgewohnheiten und dem Kontaminationsgrad des Fleisches mariner Tiere (Robben, Walrosse, Wale) dem Botulismus vom Typ E einen besonders schweren Tribut bezahlen. Diese Menschen pflegen das erjagte Fleisch solange bei Umgebungstemperatur «reifen» zu lassen, bis es die gewünschte Konsistenz und das richtige «Aroma» hat. Dabei ist zu sagen, dass *C. botulinum* vom Typ E auch bei 4–5 °C noch Toxin bildet (46/S. 77).

Keimvermehrung

Eigenschaften des Lebensmittels sowie Verarbeitungs- und Lagerungsbedingungen bedingen das *Risiko der Keimvermehrung* im/auf dem kontaminierten Lebensmittel und damit letztlich auch das *Gesundheitsrisiko* bzw. *Verderbsrisiko* (52). Die durch Mikroorganismen, und vorab durch Bakterien, bedingten Gesundheitsschäden sind um ein Vielfaches höher als die durch chemische Substanzen verursachten. An dieser Einschätzung der Situation durch kompetente Wissenschaftler hat sich bis heute nichts geändert (14/S. 26, 72). Aber auch bei den Verbrauchern scheint sich die Erkenntnis durchzusetzen, dass Lebensmittelsicherheit nicht primär eine Frage von Rückständen, sondern von pathogenen Mikroorganismen ist (55). Die Dunkelziffer ist aber sehr hoch, wenn man davon ausgeht, dass in den industrialisierten Ländern schätzungsweise 10% der Lebensmittelvergiftungen offiziell erfasst werden, in sogenannten Entwicklungsländern sogar weniger als 1% (72). Bakterien sind, nebst den Schimmelpilzen, auch die Hauptursache des Lebensmittelverderbs (5/S. 1). Von mikrobiellem Verderb sprechen wir, wenn Mikroorganismen durch ihre Vermehrung und Stoffwechseltätigkeit ein Lebensmittel soweit in seiner sinnfälligen Beschaffenheit verändern, dass sein Gebrauchswert erheblich beeinträchtigt oder seine bestimmungsgemässe Verwendung überhaupt ausgeschlossen ist. Mikrobieller Verderb kann nur entstehen, wenn das geeignete Substrat (das Lebensmittel) vorhanden ist und mit der entsprechenden Flora besiedelt wird (primäre und sekundäre Kontamination), die auch die Chance erhält, sich zu vermehren (14/S. 95). Es muss aber hervorgehoben werden, dass unerwünschter mikrobieller Verderb (z. B. Sauerwerden, Fäulnis) und erwünschter mikrobieller Reifungsvorgang (z. B. Käse- und Rohwurstreifung) qualitativ kaum voneinander zu unterscheiden sind. Für die Beurteilung entscheidend ist das Substrat, worin sich diese Vorgänge abspielen. Auch wenn es sich um die gleichen Mikroorganismen (Milchsäurebakterien) und die gleichen Stoffwechselprodukte (Milchsäure, eventuell auch Essigsäure) handelt wie bei der Rohwurstreifung, gilt doch die Säuerung bei Brühwurst und vollends bei Kochwurst als unzweifelhaftes Zeichen des Verderbs (14/S. 111).

Das Überleben und die Vermehrung der Mikroorganismen sowohl im Lebensmittel als auch in dessen Umwelt sind an günstige Wachstumsbedingungen gebunden und dabei von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig, die nach der in der internationalen lebensmittelmikrobiologischen Literatur eingeführten Terminolo-

gie als *intrinsische und extrinsische Faktoren, implizite Parameter* und *Prozessfaktoren* bezeichnet werden (14/S. 95).

Unter den *intrinsischen oder inneren Faktoren* zählen wir Struktur und Inhaltsstoffe des kontaminierten Lebensmittels; a_w-Wert (Wasseraktivität); pH-Wert und E_h-Wert (Redoxpotential).

Die *Struktur des Lebensmittels* beeinflusst die Zugänglichkeit der Inhaltsstoffe für Mikroorganismen. Ein Kilogramm Rindfleisch am Stück oder als Hackfleisch werden sich wegen der Oberflächenvergrösserung und der demzufolge viel ausgedehnteren kontaminierten Schnittfläche gegenüber dem Verderbspotential der Kontaminanten sehr ungleich verhalten. Bei ganzen Stücken und insbesondere bei ganzen Vierteln oder Schlachtkörperhälften ist das nährstoffreiche Muskelfleisch durch oberflächliches, bindegewebiges, biologisch minderwertiges Faszien- bzw. Sehnengewebe geschützt.

Ein anderes Beispiel für die Bedeutung der Struktur eines Lebensmittels ist das Hühnerei. Die Kalkschale des Eies ist zwecks Sauerstoffversorgung des Kükens mit Tausenden von Poren durchsetzt, die je einen Durchmesser von 20 bis 30 µm aufweisen. Der Durchtritt von Mikroorganismen wird durch eine äussere dichte Eioberhaut (Cuticula) verhindert, und zwar solange diese nicht beschädigt wird, z. B. durch Einziehen in die Poren infolge des beim Erkalten des Eies nach dem Legen im Eiinnern entstehenden Unterdruckes oder durch mechanische Einflüsse (18/S. 271ff.). Das Reinigen der Schmutzeier ist deshalb bei uns nicht zugelassen und wird routinemässig unter einer UV-Lampe kontrolliert.

Interessanterweise ist gezeigt worden, dass sich durch rasches Herunterkühlen frisch gelegter Eier auf 0 °C die in der Eischale schon vorhandenen mikroskopischen Haarrisse vergrössern werden, wobei dadurch das Eindringen von Kontaminanten, insbesondere von *Salmonella enteritidis*, signifikant gefördert wurde (19).

Art und Umfang des Lebensmittelverderbs, mehrheitlich durch mikrobielle Stoffwechselleistungen verursachte Veränderungen von Aussehen, Geruch, Geschmack und Textur von Lebensmitteln werden massgeblich von den *Inhaltsstoffen* beeinflusst. Die Substrate müssen aber auch *bioverfügbar*, das heisst zugänglich und aufnehmbar sein (21/S. 29, 18/S. 99ff.). Nicht nur Nährstoffe, sondern auch hemmende Substanzen spielen hierbei eine wichtige Rolle. So gelangen z. B. Mikroorganismen nach dem Durchdringen der Eischalenhaut (Cuticula und innere Eimembran) in das Eiklar, das durch die Anwesenheit von Lysozym und bakteriostatischen Proteinen zum Schutze des Dotters eine antimikrobielle Wirkung ausübt (18/S. 272).

Wasser ist für alle Lebensvorgänge unerlässlich, auch für das Wachstum von Mikroorganismen. Nur das physikalisch und chemisch ungebundene Wasser macht ihnen erst die Vermehrung möglich. Als Mass für dieses ungebundene Wasser dient der Begriff «*Wasseraktivität*» (*a_w-Wert*, wo a_w «activity of water» bedeutet). Die Wasseraktivität eines Lebensmittels wird bestimmt durch den chemischen Wassergehalt, die Art und Menge der darin gelösten Stoffe sowie durch die Art und Weise der strukturellen Wasserbindung. Die Beziehung zwischen chemischen Wassergehalten und a_w-Werten lässt sich in Form der sogenannten *Sorptionsisothermen* darstellen. Diese verlaufen für jedes Lebensmittel charakteristisch. Ein Wasserge-

halt von 17% entspricht z. B. bei reinem Muskelfleisch einem a_w-Wert von 0,90, bei getrockneten Früchten dagegen nur einem a_w-Wert von 0,64, weil zelluläre Gerüststoffe und vor allem osmotische Kräfte (durch gelöste Säuren, Zucker und andere Substanzen) das Wasser viel stärker binden (14/S. 97).

Die meisten *Enterobacteriaceae* stellen ihr Wachstum unterhalb eines a_w-Wertes von 0,95 ein. Von einigen Ausnahmen abgesehen (z. B. Vibrio parahaemolyticus) sind grampositive Bakterien ganz allgemein resistenter gegen niedrige Wasseraktivitäten als gramnegative. In Rohpökel- und Rohwursterzeugnissen findet man auch deshalb regelmässig eine grampositive Flora, wobei die Resistenz von *Staphylococcus aureus* ein besonderes Gefahrenmoment darstellt (14/S. 99). In der Tat wächst der Erreger noch bei einem a_w-Wert von 0,86. Die Toxinproduktion scheint jedoch bei $a_w = 0{,}89$ eingestellt zu werden (14/S. 56).

Technologisch kann die Verminderung der Wasseraktivität durch Wasserentzug (Trocknung), durch Erhöhung der Elektrolytkonzentration (Salzzugabe) oder auch durch Zusatz anderer löslicher Substanzen (Zucker, Glycerin) erreicht werden. Eine Verminderung der Wasseraktivität wird in der Regel mit anderen Prozessfaktoren (pH-Senkung, Pökelstoffe) kombiniert (14/S. 99).

Mikrobielles Wachstum ist innerhalb eines recht weiten *pH-Bereiches* möglich. Die Alge *Ulva* verträgt z. B. pH-Werte über 10. Einige Pilze und Hefen wachsen noch bei pH-Werten um oder sogar unter 2. Die meisten Pathogenen und auch die Mehrzahl der Verderbsorganismen, insbesondere der Proteolyten, haben ihr pH-Optimum im Neutralbereich (14/S. 99).

Bereits bei der initialen Kontamination übt der pH-Wert des Lebensmittels eine selektive Wirkung aus. Früchte beherbergen mit ihrem zumeist niedrigen pH-Wert eine völlig andere Flora als Frischfleisch oder Fisch. Die Flora der letzteren ist vorwiegend proteolytisch, gramnegativ und säureempfindlich. Dagegen findet man in vielen pflanzlichen Lebensmitteln, in Molkereiprodukten, Marinaden und Fleischerzeugnissen mit niedrigem pH-(und a_w-!) Wert eine vor allem saccharolytische, grampositive und säuretolerante Flora. *Clostridium botulinum* Typ A und B wachsen und bilden Toxin nur oberhalb pH 4,5 und Typ E sogar nur oberhalb pH 5,0. In Broten mit pH-Werten unter 5,0 kommt der Fadenzieher *Bacillus subtilis* gewöhnlich nicht zur Entwicklung. *Salmonella spp.* vermehren sich bei pH 4,1 nur unter optimalen sonstigen Bedingungen, insbesondere a_w-Wert und Temperatur. Praktisch gilt jedoch für Salmonellen ein pH-Grenzwert von 4,5. Enterotoxinbildung bei *Staphylococcus aureus* ist bei einem minimalen pH-Wert von 4,0 auch nur unter optimalen Bedingungen im Experiment nachgewiesen worden. Hohe pH-Werte wirken ebenfalls keimhemmend, sind in Lebensmitteln allerdings selten (Hühnereiklar mit einem pH-Wert von 9,0) (9/S. 293, 14/S. 99ff.).

Das *Redoxpotential* ist ein Mass für die Bereitschaft eines Lebensmittels, Elektronen aufnehmen (Reduktion des Lebensmittels) bzw. abgeben (Oxidation des Lebensmittels) zu können. Die dabei zu einer Bezugselektrode auftretende Potentialdifferenz wird in Millivolt gemessen und als *E_h-Wert* ausgedrückt. Das Redoxpotential hängt primär von der chemischen Zusammensetzung (S-haltige Aminosäuren, Ascorbinsäure) und ausserdem vom Sauerstoffpartialdruck im Lebensmittel, im wesentlichen vom Ausmass des Luftzutrittes, ab (14/S. 100).

Zu den *extrinsischen oder äusseren Faktoren* zählen Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Partialdrucke von Gasen (Vakuum, Schutzgase). Optimal ist diejenige Wachstumstemperatur, die die maximale Zellausbeute liefert. Nach den Bereichen optimaler Wachstumstemperaturen teilt man die Mikroorganismen in *Psychrophile* (10–12 °C), *Psychrotrophe* (um 25 °C), *Mesophile* (37–40 °C) und *Thermophile* (um 60 °C) (14/S. 101).

Unter den psychrophilen und psychrotrophen Bakterien findet man Vertreter der Gattungen *Alcaligenes, Corynebacterium, Flavobacterium, Lactobacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Streptococcus, Streptomyces*. Diese Bakterien vermehren sich also auch bei Kühltemperaturen und verursachen Verderb von Fleisch, Fisch, Geflügel, Eiern und anderen normalerweise gekühlt aufbewahrten Lebensmitteln. Der quantitative Nachweis psychrophiler Bakterienarten muss der optimalen Wachstumstemperatur Rechnung tragen und wird demzufolge bei einer Inkubationstemperatur von 7 °C und einer Inkubationszeit von mindestens 7 Tagen höhere Ergebnisse liefern als eine Temperatur von 30 °C über 3 Tage (17, 38–39). Stets sollte man daran denken, dass unter den psychrotrophen Bakterienspezies auch pathogene Spezies wie *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium botulinum* (Typ E) vorkommen. Immerhin können sich hämolytische Stämme von *Listeria monocytogenes* noch bei Temperaturen von 1,1 ± 0,3 °C vermehren (14/S. 102). Die Einführung der Kühlkette hat somit nicht alle Möglichkeiten der Vermehrung pathogener Mikroorganismen ausgeschaltet, sondern uns einmal mehr mit dem vielfältigen Anpassungsvermögen dieser Organismen vertraut gemacht. Einige Keime, wie *Streptococcus faecalis*, weisen ein Wachstumsspektrum von 0 bis 30 °C oder darüber auf (17/S. 39).

Die meisten in lebensmittelhygienischer Hinsicht wichtigen thermophilen Bakterien gehören den Gattungen *Bacillus* und *Clostridium* an. Obschon nur wenige Spezies dieser Gattungen tatsächlich thermophil sind, ergeben sich daraus praktische Konsequenzen für die Konservenindustrie (17/S. 39).

B. subtilis-Sporen können den Backprozess in der Brotrinde überleben, wenn die Kerntemperaturen 100 °C nicht übersteigen. Bei einer Lagertemperatur über 16–20 °C keimen die Sporen aus (optimale Wachstumstemperatur 35–40 °C) (9/S. 294).

Trotz Forderung nach einer systematischen Kühlung der Lebensmittel als Schutz vor Verderb und vor Lebensmittelvergiftungen ist der organoleptischen Beschaffenheit der Lebensmittel Rechnung zu tragen. So halten sich Bananen bei einer Temperatur von 13 bis 17 °C besser als bei 5–7 °C, wo sie schwarz werden (17/S. 39).

Die *relative Luftfeuchtigkeit* gehört bezüglich a_w-Wert in Lebensmitteln und Keimwachstum auf Lebensmitteloberflächen zu den wichtigen Lagerungsbedingungen. Beispielsweise sollte ein Lebensmittel mit einem a_w-Wert von 0,6 nicht einer Luftfeuchtigkeit ausgesetzt werden, die eine Wasseraufnahme aus der Luft ermöglicht. Durch entsprechende Erhöhung des a_w-Wertes an der Oberfläche des Lebensmittels und in den angrenzenden Schichten würde ein Keimwachstum im Gegensatz zur Absicht erneut gefördert (17/S. 39). Gekühlte Produkte können auf diese Weise im Kühlraum verschimmeln (14/S. 104). Dabei ist als Kuriosum auch

Serratia marcescens zu erwähnen, deren Kolonien auf Backwaren rote Flecken verursachen. Im Mittelalter waren «blutende Hostien» Anlass zu Gerichtsprozessen und Todesurteilen. *Serratia marcescens* bildet den roten Farbstoff «Prodigiosin» und gelangt, v. a. bei hoher Luftfeuchtigkeit, nach dem Backprozess auf die Backwaren (9/S. 295).

Auch besteht ein nicht zu vernachlässigender Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Umgebungstemperatur und -feuchtigkeit müssen auf die Oberflächentemperatur der Produkte abgestimmt sein. Die Kondensation (*Taupunktüberschreitung*) kann vermieden werden durch Erniedrigung der Umgebungstemperatur, Erniedrigung der Feuchte der Umgebung oder Erhöhung der Oberflächentemperatur des gekühlten Gutes. Eine einfache Methode zur Feststellung von Taupunktüberschreitungen ist die folgende: ein Spiegel, der auf die gegebene Oberflächentemperatur gekühlt wurde, beschlägt sich im zu prüfenden Raumklima sofort bei der geringsten Taupunktüberschreitung (43/S. 595). Die Taupunktüberschreitung wirkt sich im lebensmittelhygienischen Sinne durch lokale Erhöhung des a_w-Wertes negativ aus. Bei Eiern wird das Eindringen der Mikroorganismen durch Feuchtigkeit auf der Eioberfläche begünstigt (18/S. 272).

E_h-wert und *Gaspartialdrucke* entscheiden, ob sich in und auf einem Lebensmittel eine vorwiegend aerobe oder anaerobe Flora entwickeln wird. Sauerstoffentzug durch Vakuumierung hemmt die Entwicklung der stark O_2-bedürftigen Flora (z. B. Pseudomonaden, Hefen, Schimmelpilze), begünstigt aber entsprechend der Temperatur das Wachstum von mikroaerophilen (*Lactobacillus spp.*), fakultativ anaeroben (*Enterobacteriaceae*, z. B. Salmonellen) oder sogar strikt anaeroben Keimen. Spezielle Gasmischungen (z. B. 80% Luft + 20% CO_2, 85% N_2 + 15% CO_2 oder O_2) werden als «*Schutzgasatmosphäre*» verwendet, wobei die wachstumshemmende Wirkung von CO_2 besonders wichtig ist. O_2-Zusätze dienen bei Frischfleisch der Erhaltung bzw. Erzeugung der gewünschten, leuchtend roten Fleischfarbe durch Bildung von Oximyoglobin. Hierfür sind O_2-Partialdrucke von mindestens 30 mm Hg erforderlich, weil bei niedrigeren Drucken das unerwünschte, missfarbene, braune Metmyoglobin entsteht (14/S. 104, 14/S. 173).

Wenn Mikroorganismen in einer ihnen bekömmlichen ökologischen Nische wachsen und sich vermehren, befinden sie sich in ständiger Konkurrenz um Raum und Nährstoffe. Hinzu gesellen sich synergistische oder antagonistische *Interaktionen* zwischen verschiedenen Mikrobenarten. Die spezifischen Wachstumseigentümlichkeiten der jeweiligen Lebensmittelflora werden als *Implizite Parameter* bezeichnet (14/S. 105). Implizite Parameter sind verantwortlich für die Ausprägung bestimmter Floraassoziationen. Wir verstehen unter einer *Assoziation* eine typische, zwei- oder mehrgliedrige, räumlich organisierte Gemeinschaft von Mikroorganismen mit ähnlichen ökologischen Anforderungen sowie positiven Wechselwirkungen, deren Bezeichnung sich nach der oder den vorherrschenden Mikrobenspezies richtet (3/S. 52, 21/S. 39).

Das Ergebnis der mikrobiellen Interaktionen ist ein dynamisches, sich entsprechend dem Mikromilieu und den mikrobiellen *Toleranzprofilen* (129/S. 4) wandelndes Bild der Mikroflora (*mikrobiologisches Profil*), das erst mangels verfügbarer Nährstoffe oder wegen Anreicherung bestimmter Stoffwechselprodukte (Säuren,

CO_2, Antibiotika, Bakteriozine, Peroxide) oder infolge äusserer Einflüsse (extrinsische Faktoren, Prozessfaktoren) zum Stillstand kommt (14/S. 105).

Ein typisches Beispiel ist die *Pseudomonas-Acinetobacter-Moraxella*-Assoziation auf der Oberfläche von frischem Fleisch, wozu sich auch *Lactobacillus spp.* und *Brochothrix thermosphacta* gesellen (128/S. 43). Diese psychrotrophe, feuchtigkeitsliebende Gemeinschaft vornehmlich gramnegativer und sauerstoffbedürftiger Mikroorganismen ist für den Oberflächenverderb des Fleisches verantwortlich (14/S. 106) und kommt beim sachgemässen Herunterkühlen des Fleisches, erhöhte Luftgeschwindigkeit vorausgesetzt, durch Austrocknung der Oberfläche mit entsprechender Senkung des a_w-Wertes zum Wachstumsstillstand (128/S. 34). In diesem Zusammenhang ist der Begriff der *Umweltgradienten* zu erwähnen (129/S. 3). Mit dem Tode des Schlachttieres hört die aktive Sauerstoffversorgung der Gewebe auf. Restsauerstoffmengen werden postmortal durch O_2-zehrende enzymatische Prozesse aufgebraucht, und es entwickeln sich im Fleisch anaerobe Verhältnisse mit E_h-Werten von –150 bis –200 mV (43/S. 188). Durch die nun lediglich von aussen her erfolgende passive O_2-Versorgung der Fleischstücke entsteht von aussen nach innen ein räumlicher O_2-Gradient, der den Verlauf des Fleischverderbs mitbestimmt. Bei entsprechender *Tiefenkontamination*, z. B. durch Ausblutungsschnitt mit kontaminiertem Messer (128/S. 27) und zu langsamer Fleischkühlung, ergeben sich für anaerobe Sporenbildner (z. B. *Clostridium perfringens, Clostridium botulinum*) ideale Wachstumsbedingungen (14/S. 107).

Ganz allgemein kann man davon ausgehen, dass hohe a_w-Werte und Eiweissgehalte in Lebensmitteln mit niedrigem Gehalt an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten die Entwicklung einer gramnegativen, proteolytischen Flora, besonders bei neutralem pH, fördern. Dagegen lassen niedrige a_w- und pH-Werte stets eine grampositive Flora erwarten, um so eher in Anwesenheit fermentierbarer Kohlenhydrate (u. a. Rohwursterzeugnisse, Fischmarinaden, Milchprodukte, Sauerteig, Sauerkraut). Bei weiter abnehmendem a_w-Wert dominieren schliesslich xerophile Hefen und Schimmelpilze (14/S. 106).

Einander zeitlich ablösende Assoziationen, also eine Populationssequenz, nennen wir *Sukzession* (Abb. 2). Eine Sukzession ist letztlich die Konsequenz zeitlicher Umweltgradienten auf oder im dynamischen Ökosystem «Lebensmittel» (3/S. 553).

In diesem Zusammenhang sind die *Bakteriozine* speziell zu erwähnen. Es handelt sich um vorwiegend durch Milchsäurebakterien (*Lactobacillus spp., Lactococcus spp., Leuconostoc spp., Pediococcus spp.*) gebildete antagonistische Substanzen mit Peptid- oder Proteinstruktur, die bakterizid oder bakteriostatisch auf nah verwandte Mikroorganismen wirken. Bakteriozine grampositiver Mikroorganismen haben ein breiteres Spektrum als diejenigen gramnegativer (z. B. *E. coli*). Auch pathogene Mikroorganismen, insbesondere *Listeria monocytogenes*, sind eingeschlossen (8/S. 360ff., 24, 106). Von allen beschriebenen Bakteriozinen wird bislang nur *Nisin*, ein durch *Lactococcus lactis ssp. lactis* gebildetes Lantibiotikum, als GRAS (generally recognized as safe) erkannt und technologisch genutzt (106). Obschon sich nisinbildende Kulturen und Handelspräparate auf Nisinbasis in der Käserei zur Verhinderung der *Spätblähung* durch auskeimende Sporen von Butter-

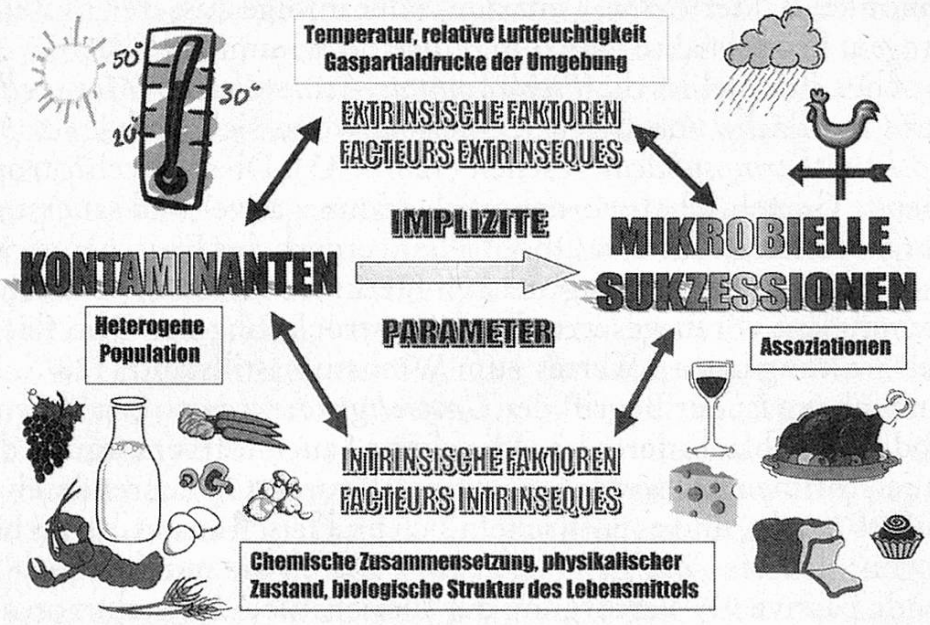

Abb. 2. Kontaminanten, Wachstumsfaktoren, Assoziationen und Sukzessionen

säure-Clostridien (v. a. *C. tyrobutyricum, C. butyricum*) nicht durchgesetzt haben, wird Nisin zur Verhinderung der Spätblähung von Schmelzkäse empfohlen, der ja weitgehend frei von vegetativen, vermehrungsfähigen Mikroorganismen ist. Nisin kann nämlich auch die grampositiven Starterkulturen hemmen (131/S. 332). Eine 1960 in der Schweiz publizierte Arbeit hatte die bakterizide Wirkung des Nisins gegenüber jungen und alten vegetativen Zellen von *C. butyricum* bereits nachgewiesen (33).

Trotz der Vielzahl charakterisierter Bakteriozine und deren Produzenten (8/S. 361, 57, 106) sowie zahlreicher experimenteller Applikationen (25, 61, 62) sind bisher keine Bakteriozinbildner in Starterkulturpräparate eingeschlossen worden. Allerdings ist reproduzierbare Bakteriozinbildung z.T. nur auf künstlichen Substraten gezeigt worden. Zudem müssten sich Produzentenstämme im Lebensmittel auch gegenüber der Spontanflora durchsetzen können und sensorisch ein akzeptables Produkt liefern. Selbstverständlich sind ferner toxikologische Unbedenklichkeit für den Menschen, Inaktivierung im Lebensmittel, definiertes Wirkspektrum, definierte Wachstumsbedingungen für Produzentenstämme (pH), Stabilität der Fähigkeit zur Bakteriozinbildung, Resistenz der Produzentenstämme gegenüber Phageninfektionen, mögliche Beeinflussung durch Schwermetallionen, mögliche Ausbildung einer bakteriozinresistenten Flora, Risiko der Übertragung von Antibiotikaresistenzen durch Produzentenstämme als wichtige Beurteilungskriterien ebenfalls zu prüfen (8/S. 360). Letzterer Punkt ist vor allem im Zusammenhang mit einer vor wenigen Monaten publizierten Studie (10) von Interesse, wonach ein 1993 aus einem Rohmilchweichkäse isolierter antibiotikamehrfachresistenter *Lactococcus lactis ssp. lactis*-Stamm infolge seiner übertragbaren Resistenzgene als Beispiel der Konsumentengefährdung durch die Lebensmittelkette herangezogen wird. Diese Gefährdung müsste erst bewiesen werden, und der Schluss der Autoren, dass das Problem der Verbreitung von Resistenzgenen durch die Resistenzübertragung

unter Milchkontaminanten durch systematische Pasteurisation der Milch in den Griff zu bekommen wäre, ist gemäss heutigem Wissensstand durchaus anfechtbar.

Als Zukunftsperspektive zeigt eine Arbeit über *Bdellovibrio bacteriovorus* Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung pathogener und verderbsverursachender Bakterien in Lebensmitteln auf (22). Die Gattung *Bdellovibrio* stellt eine Gruppe aerober Räuberbakterien dar, die zahlreiche gramnegative Bakterienspezies angreifen, in diese eindringen und sich vermehren, was zur Lyse der befallenen Organismen führt.

Unter *Prozessfaktoren* verstehen wir die Verfahrenseinflüsse auf die Mikroflora eines kontaminierten Materials. Alle lebensmitteltechnologischen Verfahren ändern das Mikromilieu. Die Lebensmitteltechnologie hat neben der Schaffung neuer und möglichst vielfältiger Erzeugnisse aus pflanzlichen und tierischen Rohstoffen im wesentlichen auch die Haltbarmachung zum Ziel. Dabei geht es darum, die intrinsischen Faktoren des Erzeugnisses so zu gestalten, dass einerseits ein sensorisch befriedigendes Erzeugnis entsteht, das andererseits unter entsprechenden Lagerungsbedingungen (extrinsische Faktoren) die erwartete Haltbarkeit aufweist. In diesem Zusammenhang muss auch berücksichtigt werden, wie sich die Kombination verschiedener Verfahrenseinflüsse auf die Mikroflora einzelner Produkte auswirkt (14/S. 101).

Zahlreiche *Konservierungsverfahren* (Kühlen, Gefrieren, Erhitzen, Bestrahlen, Trocknen, Salzen, Pökeln, Räuchern, Fermentieren, Säuern, Zuckern, Vakuumieren, Schutzgasbehandlung) werden bei Lebensmitteln eingesetzt, um die Produkte stabil (Schutz vor Verderb) und sicher (Schutz vor Lebensmittelvergiftungen) zu machen. Dabei beruhen diese verschiedenen Verfahren nur auf relativ wenigen Kriterien (Hürden), nämlich P-Wert oder F-Wert (hohe Temperatur durch Pasteurisation oder Sterilisation), t-Wert (niedrige Temperatur), a_w-Wert (wenig frei verfügbares Wasser), pH-Wert (ausreichende Säuerung), E_h-Wert (vermindertes Sauerstoffangebot), Konservierungsstoffe (z. B. beim Pökeln und Räuchern oder bei Schutzgasbehandlung) und Konkurrenzflora (z. B. Milchsäurebakterien) (11/S. 159).

Die mikrobiologische Stabilität fast aller Lebensmittel wird durch eine Kombination von mehreren Kriterien (Hürden) herbeigeführt und lässt sich durch den sogenannten *Hürdeneffekt* veranschaulichen, wobei in der Praxis die Hürden nicht alle gleich hoch sind und meistens zeitlich gestaffelt zur Wirkung gelangen (Sequenz von Hürden). Ein typisches Beispiel für eine sequentielle Hemmung ist die Rohwurst, wo durch die Sequenz der Hürden nicht nur die Salmonellen, sondern *auch Clostridium botulinum, Staphylococcus aureus, Listeria monocytogenes* und die Verderbsflora gehemmt werden (11/S. 160).

Aus dem Hürdeneffekt ist die *Hürdentechnologie* abgeleitet worden, die nicht nur die Wirkung einer Kombination von Kriterien auf die Stabilität von Lebensmitteln beschreibt, sondern diese Einsichten ebenso für die Entwicklung und Beherrschung von neuen Herstellungsprozessen nutzt (11/S. 162, 12).

Schlussbetrachtung und Ausblick

Im allgemeinen werden also mehrere Verfahren zur Behandlung eines Lebensmittels miteinander kombiniert, ehe das verzehrsfertige Erzeugnis vorliegt, wobei diese Kombinationen im Hinblick auf die Beeinflussung der Mikroflora von grosser Bedeutung sind. Die verschiedenen Milieufaktoren beeinflussen sich und es treten Kombinationseffekte oder sogenannte *Interaktionen* auf (14/S. 174ff., 86, 128/S. 6, 130). Wie oben erwähnt, bedingen Kontaminationsrisiko und Keimvermehrungsrisiko das lebensmittelhygienische *Risiko*, wobei wir im epidemiologischen Sinne unter Risiko das Produkt aus dem Schweregrad und der Auftrittswahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Gefahr zu verstehen haben (26, 28).

Das *HACCP-Konzept* soll in diesem Zusammenhang zur Abwehr solcher gesundheitlicher Gefahren dienen, die spezifisch anzusprechen, das heisst zu identifizieren, zu bewerten, kontinuierlich zu erfassen und zu beherrschen sind (54, 60). Es beinhaltet u. a. die Gefahrenanalyse, die Risikobeurteilung und das Risikomanagement als Elemente der *Risikoanalyse* (52).

Die Gefahrenanalyse ist die Verbindung zwischen Epidemiologie und Mikrobiologie. Sie ergründet die Umstände, die den pathogenen Mikroorganismen das Wachstum soweit erlaubt haben, dass sie als genügend grosse Populationen bzw. durch genügend hohe Toxinproduktion Erkrankungen hervorrufen konnten (6). Die Risikoanalyse besteht traditionellerweise aus drei unterschiedlichen, zueinander in Beziehung stehenden Phasen: Risikobeurteilung (risk assessment), Risikomanagement (risk management) und die risikobezogene Kommunikation (risk communication) (26, 28). Die Risikobeurteilung setzt sich ihrerseits aus drei Komponenten zusammen: qualitative oder quantitative Beurteilung der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Krankheitserreger und Wirt, relativer Schweregrad der Erkrankung, Expositionsbewertung (quantitative Abschätzung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Konsument zum Zeitpunkt des Verzehrs einem pathogenen Mikroorganismus ausgesetzt wird). In diesem Zusammenhang ist es wichtig festzuhalten, dass bei Mikroorganismen als infektiöse Einheit die einzelne Zelle anzusehen ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass mit einer einzelnen Zelle eine Infektion angeht, ist eher gering, aber trotzdem nicht Null. Das Konzept der minimalen Infektionsdosis wird von zahlreichen Forschern nicht akzeptiert, die in der Beziehung zwischen infektiösen Mikroorganismen und menschlichen Populationen keine Schwelle erkennen wollen. Aber es sind sich alle darüber einig, dass das Risiko (Wahrscheinlichkeit) einer Infektion und die Morbidität (Erkrankungshäufigkeit) mit steigender Expositionsdosis zunehmen (26, 81).

Wissenschaftliche quantitative Risikobeurteilungen von Mikroorganismen in Lebensmitteln auf der Basis von Dosis-Wirkungs-Beziehungen und Expositionsbewertungen, wie sie für chemische Kontaminanten üblich sind, liegen bisher nur für gewisse Protozoen und Viren im Trinkwasser sowie für Viren in Muscheln und Austern vor (52).

Der mikrobiologische Nachweis desselben Pathogenenstammes in klinischem Material (z. B. Stuhlproben) und in epidemiologisch relevanten Lebensmitteln erbringt den Beweis der Ursache. Der Nachweis des gleichen Stammes bei lebens-

mittelmanipulierenden Firmenangestellten oder in einem Rohstoff kann die Kontaminationsquelle aufdecken. Wenn es gelingt, aus einem verdächtigen Lebensmittel, das z. B. von mehreren Erkrankten gegessen wurde, in grösserer Menge pathogene Mikroorganismen zu isolieren, lässt sich bezüglich dem Vehikel eine Hypothese aufstellen (6). Anlässlich der Listerienepidemie im Waadtland zwischen 1983 und 1987 wurden über 200 Weichkäsearten in- und ausländischer Produktion auf Listerien untersucht, wobei in 8–10% der Proben aus der Rinde *L. monocytogenes* isoliert werden konnte. Die Stämme wurden sero- und phagentypisiert, und mit einer Ausnahme, dem im Waadtland produzierten Vacherin Mont-d'Or, konnten die zwei aus Patienten isolierten epidemischen Sero- und Phagentypen in keiner Käseprobe nachgewiesen werden, geschweige denn aus anderen Milchprodukten und sonstigen Lebensmitteln. Diese zwei epidemischen Stämme wurden aus 80% der 122 registrierten menschlichen Erkrankungsfälle isoliert, und eine *Fall-Kontroll-Studie* zeigte, dass Vacherin Mont-d'Or von den Erkrankten signifikant häufiger gegessen worden war als von den dazu passenden Kontrollen (4).

Ein positives Ergebnis einer gezielten mikrobiologischen Untersuchung kann den Beweis erbringen, dass ein epidemiologisch relevantes Lebensmittel das verantwortliche Vehikel ist. Aber der positive Nachweis im Lebensmittel ohne epidemiologische Assoziation beweist noch nichts! Es könnte gut sein, dass die nachgewiesenen pathogenen Mikroorganismen in zu kleiner Anzahl vorliegen, als dass durch ihren Konsum Krankheit hervorgerufen werden könnte. Von entscheidender Bedeutung ist ebenso die Tatsache, dass ein negativer Befund kein Lebensmittel freispricht. Das negative Ergebnis bedeutet nur, dass das ätiologische Agens aus der untersuchten Lebensmittelprobe nicht isoliert werden konnte, wofür es verschiedene Gründe gibt (6).

Nun erweist sich gerade die *prädiktive Mikrobiologie* als Schlüssel zur Durchführung quantitativer mikrobieller Risikobeurteilungen von Lebensmitteln (26). Bei der vorhersagenden Mikrobiologie wird das Verhalten der produktrelevanten Keimarten in Abhängigkeit verschiedener Umgebungsfaktoren mit Hilfe von mathematischen Beziehungen beschrieben, wobei die Verknüpfung der Modellierung mit der Praxis durch die Leistungsfähigkeit und Bedienungsfreundlichkeit der EDV-Systeme sowie durch die hochentwickelte Messtechnik für relevante Parameter (Temperatur, a_w-, pH-, E_h-Werte u. a.) unterstützt wird. Mittels Wahrscheinlichkeitsmodellen oder kinetischen Modellen gelingt es, das Verhalten von Mikroorganismen voraussagend zu beschreiben. Voraussetzung für die Modellierung sind jedoch reproduzier- und vergleichbare Messergebnisse aus standardisierten mikrobiologischen Untersuchungen mit Variation der wachstumsbeeinflussenden Faktoren (16). Die prädiktive Mikrobiologie kann uns z. B. mit einem polynominalen Modell der Wachstumskinetik, das simultan mehrere Parameter wie z. B. Temperatur, pH, NaCl und $NaNO_2$ modelliert, bei Kenntnis der Initialkontamination Information über die mögliche Vermehrung von pathogenen Mikroorganismen, wie *Salmonella typhimurium*, in einem tischfertigen, mangelhaft gekühlten Fleischerzeugnis liefern. Der Vergleich des experimentell gewonnenen Zahlenmaterials mit der empirischen Dosis-Antwort-Kurve würde dann erlauben, die Wahrscheinlichkeit der Infektion durch das tischfertige Fleischerzeugnis zeitlich zu verfolgen.

Dabei ist die *Gompertz-Gleichung* eine mathematische sigmoïde Beziehung, die sehr häufig zur Darstellung von Veränderungen in Bakterienpopulationen als Funktion der Zeit herangezogen wird (26, 29, 30, 56).

Wohl können die Gefahrenanalysen im Rahmen von HACCP-Konzepten durch computergestützte mathematische Modelle unterstützt werden, aber wegen der komplexen Zusammensetzung von Lebensmitteln vermögen die Ergebnisse der voraussagenden Mikrobiologie allerdings nur einen Rahmen zum Verständnis der Ökologie und Kinetik von Mikroorganismen in Lebensmitteln zu geben (23, 52).

Zusammenfassung

Lebensmittel sind Teile unserer Umwelt, und somit ist die Lebensmittelmikrobiologie als Teil der Umweltmikrobiologie und der Umwelthygiene zu betrachten. Damit steht sie einerseits in engem Zusammenhang mit der mikrobiellen Ökologie, andererseits auch mit der mikrobiellen Biochemie. Mikroorganismen haben im Laufe der Evolution eine ausgeprägte biochemische Differenzierung und Vielfalt des Stoffwechsels herausgebildet, worauf ihre grosse Bedeutung in den Stoffkreisläufen beruht. Unter dem Begriff der mikrobiellen Kontamination verstehen wir alle Vorgänge, durch die es zur Anwesenheit von Mikroorganismen in und/oder auf Lebensmitteln kommt. Wir unterscheiden unerwünschte, tolerierbare und erwünschte Kontaminanten sowie primäre und sekundäre Kontamination. Die Lebensmittelhygiene soll im wesentlichen dazu beitragen, unerwünschte mikrobielle Kontaminationen zu verhüten. Grundbedingung dazu ist jedoch die Kenntnis der Kontaminationsquellen (Ökologie) und Kontaminationswege (Betriebshygiene und Verarbeitungstechnologie), weil dadurch das Kontaminationsrisiko bedingt wird. Eigenschaften des Lebensmittels (intrinsische Faktoren) sowie Verarbeitungs- und Lagerungsbedingungen (extrinsische Faktoren) bedingen das Risiko der Keimvermehrung im/auf dem kontaminierten Lebensmittel und damit letztlich auch das Gesundheitsrisiko bzw. Verderbsrisiko. Zum Schluss werden Zusammenhänge zwischen Risikoanalyse, HACCP-Konzept und voraussagender Mikrobiologie aufgezeigt.

Résumé

Les denrées alimentaires font partie de l'environnement, et de ce fait la microbiologie alimentaire s'intègre dans la microbiologie et l'hygiène environnementale. Ceci la met en étroite relation avec l'écologie microbienne, ainsi que la biochimie microbienne. Au cours de leur évolution les microorganismes ont développé une différenciation biochimique marquée et une diversité métabolique, sur lesquelles repose leur importance dans les cycles des éléments. Par contamination microbienne nous entendons tous les processus par lesquels des microorganismes parviennent dans et/ou sur les denrées alimentaires. Nous distinguons les contaminants indésirables, tolérés et souhaitables, ainsi que la contamination primaire et secondaire. L'hygiène des denrées alimentaires doit essentiellement contribuer à éviter les contaminations indésirables. La condition en est la connaissance des sources de contamination (écologie) et des voies de contamination (hygiène d'exploitation et technologie de transformation), desquelles dépend le risque de contamination. Les propriétés d'une denrée alimentaire (facteurs intrinsèques), ainsi que les conditions de transformation et d'entreposage (facteurs extrinsèques) conditionnent le risque de croissance microbienne et finalement

les risques sanitaire et resp. d'altération. En guise de conclusion les relations entre l'analyse du risque, le concept HACCP et la microbiologie prédictive sont présentées.

Summary

Foods are considered to be a part of the environment, which means that food microbiology belongs to environmental microbiology and hygiene. In this sense it is closely related to microbial ecology and microbial biochemistry. During their evolution microorganisms have developed a marked biochemical differenciation, as well as diversity of metabolism, justifying their significance in the natural cycles of elements. As microbial contamination we understand all processes bringing microorganisms into and/or onto foods. We make the difference between undesirable, tolerable and desirable contaminants, as well as between primary and secondary contamination. Food hygiene has essentially the aim of preventing undesirable microbial contaminations. The condition to this is a good knowledge of contamination sources (ecology) and ways of contamination (plant hygiene and processing technology), which both determine the contamination risk. Properties of the food (intrinsic factors), as well as the conditions of processing and storage (extrinsic factors) determine the risk of microbial growth in/on the contaminated food and finally also the health risk, respectively the risk of spoilage. To conclude, the relations between risk analysis, HACCP-concept and predictive microbiology are presented.

Literatur

1. *Ehrlich, H.L.:* Geomicrobiology. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York 1996.
2. *Vilain, R.:* Ecologie microbienne et hygiène hospitalière. Pour la Science, no 55, 105–115 (1982).
3. *Parent, S.:* Dictionnaire des sciences de l'environnement. Terminologie bilingue français-anglais. Rageot Editeur, Paris 1991.
4. *Bille, J.:* Anatomy of a foodborne listeriosis outbreak. In: Foodborne listeriosis. Proceedings of a Symposium on September 7, 1988 in Wiesbaden, FRG. Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster (USA) 1990.
5. *Schlegel, H.G.:* Allgemeine Mikrobiologie, 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1974.
6. *Bryan, F.L.:* Hazard Analysis: The link between epidemiology and microbiology. J. Food Prot. **59**, 102–107 (1996).
7. *Kunz, B.:* Grundriss der Lebensmittel-Mikrobiologie, 2. Aufl. Behr's Verlag, Hamburg 1994.
8. *Weber, H.:* Mikrobiologie der Lebensmittel. Fleisch und Fleischerzeugnisse, 1. Aufl. Behr's Verlag, Hamburg 1996.
9. *Müller, G., Holzapfel, W.* und *Weber, H.:* Mikrobiologie der Lebensmittel. Lebensmittel pflanzlicher Herkunft, 1. Aufl. Behr's Verlag, Hamburg 1996.
10. *Perreten, V., Schwarz, F., Cresta, L., Boeglin, M., Dasen, G.* and *Teuber, M.:* Antibiotic resistance spread in foods. Nature **389**, 801–802 (1997).
11. *Wirth, F., Leistner, L.* und *Rödel, W.:* Richtwerte der Fleischtechnologie, 2. Aufl. Deutscher Fachverlag, Frankfurt a. M. 1990.
12. *Baumgartner, H.-P.:* Verhalten von potentiell humanpathogenen Bakterien der Arten Aeromonas hydrophila, Campylobacter jejuni. Escherichia coli, Pseudomonas aerugino-

sa, Salmonella spp., Staphylococcus aureus und Yersinia enterocolitica in Hart- und Halbhartkäse aus Rohmilch. Diss. ETH Zürich 1994.
13. *Mitscherlich, E.* and *Marth, E.H.:* Microbial survival in the environment. Bacteria and Rickettsiae important in human and animal health. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984.
14. *Sinell, H.-J.:* Einführung in die Lebensmittelhygiene, 3. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1992.
15. *Hayes, P.R.:* Food microbiology and hygiene, 2nd ed. Elsevier Applied Science, London and New York 1992.
16. *Mészáros, L., Rödel, W.* und *Gleich, B.:* Vorhersagende Mikrobiologie – Ein effektives Konzept für die Qualitätssicherung. Fleischwirtsch. **74**, 1227–1230 (1994).
17. *Jay, J.M.:* Modern food microbiology, 2nd ed. D. Van Nostrand Company, New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne 1978.
18. *Krämer, J.:* Lebensmittel-Mikrobiologie, 2. Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1992.
19. *Fajardo, T.A., Anantheswaran, R.C., Puri, V.M.* and *Knabel, S.J.:* Penetration of *Salmonella enteritidis* into eggs subjected to rapid cooling. J. Food Prot. **58**, 473–477 (1995).
20. *Pichot, A.:* Louis Pasteur – Ecrits scientifiques et médicaux. Flammarion. Paris 1994.
21. *Fritsche, W.:* Umwelt-Mikrobiologie. Gustav Fischer, Jena 1998.
22. *Fratamico, P.M.* and *Whiting, R.C.:* Ability of *Bdellovibrio bacteriovorus* 109J to lyse gram-negative food-borne pathogenic and spoilage bacteria. J. Food Prot. **58**, 160–164 (1995).
23. *Elliott, Ph.H.:* Predictive microbiology and HACCP. J. Food prot. **Suppl.**, 48–53 (1996).
24. *Muriana, P.M.:* Bacteriocins for control of Listeria spp. in Food. J. Food prot. **Suppl.**, 54–63 (1996).
25. *McMullen, L.M.* and *Stiles, M.E.:* Potential for use of bacteriocin-producing lactic acid bacteria in the preservation of meats. J. Food prot. **Suppl.**, 64–71 (1996).
26. *Buchanan, R.L.* and *Whiting, R.C.:* Risk assessment and predictive microbiology. J. Food prot. **Suppl.**, 31–36 (1996).
27. *McMeekin, Th.A.* and *Ross, Th.:* Modeling applications. J. Food prot. **Suppl.**, 37–42 (1996).
28. *Cerf, O., Sanaa, M., Dufour, B.* et *Toma, B.:* Nomenclature proposée pour l'analyse de risque en santé humaine et animale. Epidémiol. Et santé anim. 30, 35–43 (1996).
29. *Linton, R.H., Carter, W.H., Pierson, M.D., Hackney, C.R.* and *Eifert, J.D.:* Use od a modified Gompertz equation to predict the effects of temperature, pH, and NaCl on the inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A heated in infant formula. J. Food Prot. **59**, 16–23 (1996).
30. *Linton, R.H., Carter, W.H., Pierson, M.D.* and *Hackney, C.R.:* Use of a modified Gompertz equation to model nonlinear survival curves for *Listeria monocytogenes* Scott A. J. Food Prot. **58**, 946–954 (1995).
31. *Dodds, K.L.: Clostridium botulinum* in the environment. In: Hauschild, A.H. and Dodds, K.L. (ed), Clostridium botulinum. Ecology and control in foods, 21–51. Marcel Dekker, Inc., New York 1993.
32. *Dodds, K.L.: Clostridium botulinum* in foods. In: Hauschild, A.H. and Dodds, K.L. (ed.), Clostridium botulinum. Ecology and control in foods, 53–68. Marcel Dekker, Inc., New York 1993.
33. *Ramseier, H.R.:* Die Wirkung von Nisin auf Clostridium Butyricum Prazm. Archiv für Mikrobiologie **37**, 57–94 (1960).

34. *Penseyres, J.-H.:* Hygienisch-mikrobiologische Risiken durch Schädlinge. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **83**, 587–611 (1992).
35. Lebensmittelverordnung (LMV) vom 1. März 1995, SR 817.02. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
36. *Ghiorse, W.C.* and *Wilson, J.T.:* Microbial ecology of the terrestrial surface. Adv. Appl. Microbiol. **33**, 107–171 (1988).
37. *Szewzyk, U., Szewzyk, R.* and *Stenstroem, T.-A.:* Thermophilic, anaerobic bacteria isolated from a deep borhole in granite in Sweden. Proc. Natl. Acad. Sci. USA **91**, 1810–1813 (1994).
38. *Fridovich, I.:* Oxygen is toxic! BioScience **27**, 462–466 (1977).
39. *Pasteur, L.:* Die in der Atmosphäre vorhandenen organisierten Körperchen, Prüfung der Lehre von der Urzeugung (Abhandlung von 1862). Übersetzt von Dr. A. Wieler. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1892.
40. *Pasteur, L.:* Examen critique d'un écrit posthume de Claude Bernard sur la fermentation. Gauthier-Villars, Paris 1879.
41. *Tomcsik, J.:* Pasteur und die Generatio spontanea. Verlag Hans Huber, Bern 1964.
42. *Brock, T.D.:* La vie à haute température. La Recherche, no 198, 476–485 (1988).
43. *Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, Th.* und *Sinnel, H.J.:* Fleisch – Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1988.
44. *Fehlhaber, K.* und *Janetschke, P.* (Hrsg): Veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene. Gustav Fischer Verlag, Jena 1992.
45. *Eklund, M.W.:* Control in fishery products. In: Hauschild, A.H. and Dodds, K.L. (ed), Clostridium botulinum. Ecology and control in foods, 209–232. Marcel Dekker, Inc., New York 1993.
46. *Hauschild, AH.W.:* Epidemiology of human foodborne botulism. In: Hauschild, A.H. and Dodds, K.L. (ed), Clostridium botulinum. Ecology and control in foods, 69–104. Marcel Dekker, Inc., New York 1993.
47. Verordnung über die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände, Räume, Einrichtungen und Personal (Hygieneverordnung, HyV) vom 26. Juni 1995, SR 817.051. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
48. *Dittrich, H.H.:* Mikrobiologie der Lebensmittel. Getränke. Behr's Verlag, Hamburg 1993.
49. *Gareis, M., Rotheneder, R.* und *Hechelmann, H.G.:* Vorkommen von Salmonella spp. in der Produktionslinie Schweinefleisch. Fleischwirtsch. **76**, 1239–1243 (1996).
50. *Bauer, J.* and *Hörmansdorfer, S.:* Salmonellosis in farm animals. Fleischwirtsch. **76**, 726–728 (1996).
51. *Burow, H., Weber, A.* und *Potel, J.:* Nachweis von Listerien in Kotproben von landwirtschaftlichen Nutztieren und in vom Tier stammenden Lebensmitteln. Fleischwirtsch. **76**, 745–749 (1996).
52. *Untermann, F.* und *Dura, U.:* Das HACCP-Konzept – Theorie und Praxis. Fleischwirtsch. **76**, 700–706 (1996).
53. *Ring, Chr.* und *Woerlen, F.:* Hygienerisiken durch Stadttauben und Möwen auf einem Schlachtbetriebsgelände. Fleischwirtsch. **71**, 881–883 (1991).
54. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: Fragen und Antworten zum HACCP-Konzept. Fleischwirtsch. **76**, 1312–1314 (1996).
55. *Sinnell, H.-J.:* Perspektiven der Lebensmittelhygiene. Fleischwirtsch. **76**, 1284–1287 (1996).
56. *Gill, C.O.:* Cold storage temperature fluctuations and predicting microbial growth. J. Food Prot. Suppl., 43–47 (1996).

57. *Németh, A., Gasparik-Reinhardt, J., Farkas, J., Balogh, I.* and *Andrássy, E.:* Identifizierung und Charakterisierung von Milchsäurebakterien gebildeten Bakteriozinen. Fleischwirtsch. **76**, 911–916 (1996).
58. Organisation mondiale de la santé. Lutte contre les salmonelloses: Le rôle de l'hygiène appliquée aux animaux et aux produits. Série de rapports techniques, no 774. OMS, Genève 1988.
59. *Buckenhüskes, H.J.:* Hygienische Aspekte des Einsatzes von Gewürzen bei der Herstellung von Fleischwaren. Fleischwirtsch. **76**, 619–625 (1996).
60. *Untermann, F., Jakob, P.* und *Stephan, R.:* 35 Jahre HACCP-System – Vom NASA-Konzept bis zu den Definitionen des Codex Alimentarius. Fleischwirtsch. **76**, 589–594 (1996).
61. *Hugas, M., Neumeyer, B., Pagés, F., Garriga, M.* und *Hammes, W.P.:* Die antimikrobielle Wirkung von Bakteriozin-bildenden Kulturen in Fleischwaren – 2. Vergleich des Effektes unterschiedlicher Bakteriozin bildender Laktobazillen auf Listerien in Rohwurst. Fleischwirtsch. **76**, 649–652 (1996).
62. *Gänzle, M., Hertel, C.* und *Hammes, W.P.:* Die antimikrobielle Wirkung von Bakteriozin-bildenden Kulturen in Fleischwaren – 1. Modellhafte Beschreibung des Effektes von Sakazin P auf Listeria ivanovii DSM 20750 in Abhängigkeit von pH-Wert, NaCl- und Nitritkonzentration. Fleischwirtsch. **76**, 649–652 (1996).
63. *Andersen, L.:* Biopräservierung mit FloraCarn-L2. Fleischwirtsch. **75**, 705–712 (1995).
64. *Burow, H.* und *Pudich, U.:* Unterschiedliche Salmonella-Serovaren in Gewürzen, gewürzten Chips und anderen Lebensmitteln. Fleischwirtsch. **76**, 640–644 (1996).
65. *Gareis, M.:* Salmonellen – Ein Überblick. Fleischwirtsch. **75**, 954–957 (1996).
66. *Schüppel, H., Salchert, F.* und *Schüppel, K.-F.:* Untersuchungen zum Einfluss von Mastitiden und weiteren Organveränderungen auf die mikrobielle Kontamination des Fleisches bei Schlachtkühen. Fleischwirtsch. **75**, 1025–1028 (1995).
67. *Fehlhaber, K., Stryczek, E.* und *Schüppel, H.:* Untersuchungen zur lebensmittelhygienischen Bedeutung von Lungenveränderungen bei Schlachtschweinen. Beitrag zum Problem der Entstehung primärer, bakterieller Kontamination des Fleisches, Fleischwirtsch. **72**, 778–784 (1992). Zit. n. 66.
68. *Sharma, N.* und *Mukhopadhyay, R.:* Herstellung fermentierter Würste – Wirksamkeit von Starterkulturen. Fleischwirtsch. **75**, 477–479 (1995).
69. *Bager, F., Emborg, H.-D., Sorensen, L.L., Haalsgard, Chr.* und *Jensen, P.Th.:* Salmonellenkontrolle in dänischem Schweinefleisch. Fleischwirtsch. **75**, 141–142 (1995).
70. *Krell, U.:* Fleisch und Fleischerzeugnisse. Rechtsfolgen bei Salmonellenvorkommen. Fleischwirtsch. **75**, 145–146 (1995).
71. *Schulz, H.:* Holz im Kontakt mit Lebensmitteln – Holz antibakteriell? Fleischwirtsch. **75**, 864–868 (1995).
72. *Käferstein, F.K.* and *Clugston, G.A.:* Human health problems related to meat production and consumption. Fleischwirtsch. **75**, 889–892 (1995).
73. *Abu-Salem, F.M., Abd-Elmaguid, N.M.* und *Seleim, E.I.:* Veränderungen der Stickstofflöslichkeit, der Lipolyse und der freien Aminosäuren in Rohwürsten aus Rind- oder Lammfleisch. Fleischwirtsch. **75**, 1242–1244 (1995).
74. *Oh, D.-H.* and *Marshall, D.L.:* Destruction of *Listeria monocytogenes* biofilms on stainless steel using monolaurin and heat. J. Food Prot. **57**, 251–255 (1995).
75. *Oh, D.-H.* and *Marshall, D.L.:* Monolaurin and acetic acid inactivation of *Listeria monocytogenes* attached to stainless steel. J. Food Prot. **59**, 249–252 (1996).

76. *Leriche, V.* et *Carpentier, B.:* Viable but nonculturable *Salmonella typhimurium* in single- and binary-species biofilms in response to chlorine treatment. J. Food Prot. **58**, 1186–1191 (1995).
77. *Comi, G., Boschelle, O., Conte, L.* und *Manzano, M.:* Lipolytische Aktivität aus Rohwürsten isolierter Micrococcaceae-Stämme. Fleischwirtsch. **75**, 1153–1160 (1995).
78. *Walser, P.* und *Deflorin, O.:* Bündnerfleisch – Proteolytische Bildung von Glutaminsäure und L-Aminobuttersäure. Fleischwirtsch. **75**, 317–319 (1995).
79. *Helke, D.M.* and *Wong, A.C.L.:* Survival and growth characteristics of *Listeria monocytogenes and Salmonella typhimurium* on stainless steel and buna-N rubber. J. Food Prot. **57**, 963–968 (1994).
80. *Scheuer, R.* und *Rödel, W.:* Bestimmung von biogenen Aminen in fermentierten Fleischerzeugnissen. Fleischwirtsch. **75**, 73–75 (1995).
81. *Notermans, S.* und *Gallhoff, G.:* Quantitative Risikoanalyse als Element von Qualitätssicherungssystemen in der Lebensmittelindustrie. Fleischwirtsch. **74**, 1036–1045 (1994).
82. *Kleemann, J.* und *Bergann, Th.: Yersinia spp.* in frischer Rohwurst – Untersuchungen zum Vorkommen und zur Charakterisierung der Yersinia enterocolitica-Isolate. Fleischwirtsch. **74**, 1101–1103 (1994).
83. *Katsaras, K.:* Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Haftung von *Salmonella typhimurium, Listeria monocytogenes* und *Escherichia coli* O157:H7 an Edelstahlflächen. Fleischwirtsch. **78**, 119–121 (1998).
84. *Karib, H.* und *Seeger, H.:* Vorkommen von Yersinien und Campylobacter-Arten in Lebensmitteln. Fleischwirtsch. **74**, 1104–1106 (1994).
85. *Kim, K.Y.* and *Frank, J.F.:* Effect of nutrients on biofilm formation by *Listeria monocytogenes* on stainless steel. J. Food Prot. **58**, 24–28 (1995).
86. *Lopez, M., Mazas, M., Gonzalez, I., Bernardo, A.* and *Gonzalez, J.:* Effect of pH and sodium chloride on the thermal resistance of *Bacillus stearothermophilus* spores. Microbiologie-Aliments-Nutrition **12**, 317–322 (1994).
87. *Karib, H., Elmarrakchi, A., Rota, C., Yangüela, J., Blanco, D.* and *Herrera, A.:* Comparative study of enrichment procedures to detect *Yersinia enterocolitica* serogroup O:3 on swine tongues. Microbiologie-Aliments-Nutrition **12**, 243–249 (1994).
88. *Wauters, G.:* Carriage of *Yersinia enterocolitica* serotype O:3 by pigs as source of human infection. Contr. Microbiol. Immunol. **5**, 249–252 (1979). Zit. nach 87.
89. *Fries, R.:* Viren in der Fleisch- und Lebensmittelhygiene. Eine Literatursichtung. Fleischwirtsch. **74**, 561–564 (1994).
90. *Metzler, A., Regli, W., Leisinger, M., Heider, H., Schweizer, K.* und *Tabisch, K.:* Viren und Parasiten im Trinkwasser – Risiken und Prävention. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **87**, 55–72 (1996).
91. *Lüthi, Th.M.:* Food and waterborne viral gastroenteritis – A review of agents and their epidemiology. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **88**, 119–150 (1997).
92. *Bachofen, R.* und *Peduzzi, R.:* Mikrobielle Diversität. LaboLife – Bulletin officiel de l'Union Suisse de Médecine de Laboratoire, n° 2, 5–9 (1995).
93. *Bourgeois, C.M.* et *Mafart, P.:* La brasserie. In: Bourgeois, C.M. et Larpant, J.P. (éd.), Microbiologie alimentaire (Tome 2): Les fermentations alimentaires. Technique et documentation – Lavoisier, Paris 1989.
94. *Toussaint-Samat, M., Alberny, R.* et *Horman, I.:* 2 millions d'années d'industrie alimentaire. Nestlé S.A., Vevey 1991.
95. *Rosset, R. (éd.):* Les viandes. Hygiène – technologie. Informations techniques des services vétérinaires, n°s 88 à 91, Paris 1984.

96. *Lindenmann, J.:* Einführung in die bakteriologische Diagnostik. S. Karger AG, Basel 1960.
97. *Fehlhaber, K., Krüger, A., Schnabel, M.* und *Krutsch, H.W.:* Untersuchungen zum Salmonella-Vorkommen bei tauglich beurteilten Schlachtschweinen. Fleischwirtsch. **76**, 1167–1169 (1996).
98. *Wilkens, S., Jacob, A., Globisch, H.* und *Thien, J.:* Untersuchung von Oberflächenkeimgehalten bei Schlachttierkörpern. Anwendbarkeit von Petrifilm™ im Vergleich zu anderen Verfahren. Fleischwirtsch. **76**, 1006–1009 (1996).
99. *Conner, D.E.* and *Bilgili, S.F.:* Skin attachment model for improved laboratory evaluation of potential carcass disinfectants for their efficacy against *Salmonella* attached to broiler skin. J. Food Prot. **57**, 684–688 (1994).
100. *Guthrie, J.A., Dunlop, K.J.* and *Saunders, G.A.:* Use of Petrifilm™ 3M to assess coliform numbers on lamb carcasses. J. Food Prot. **57**, 924–927 (1994).
101. *Bautista, D.A., Vaillancourt, J.P., Clarke, R.A., Renwick, Sh.* and *Griffiths, M.W.:* Rapid assessment of the microbiological quality of poultry carcasses using ATP bioluminescence. J. Food Prot. **58**, 551–554 (1995).
102. *Siragusa, G.R.* and *Cutter, C.N.:* Microbial ATP bioluminescence as a means to detect contamination on artificially contaminated beef carcass tissue. J. Food Prot. **58**, 764–769 (1995).
103. *Siragusa, G.R., Cutter, C.N., Dorsa, W.J.* and *Koohmaraie, M.:* Use of a rapid microbial ATP bioluminescence assay to detect contamination on beef and pork carcasses. J. Food Prot. **58**, 770–775 (1995).
104. *Kim, J.-W.* and *Slavik, M.F.:* Cetylpyridinium chloride (CPC) treatment on poultry skin to reduce attached *Salmonella*. J. Food Prot. **59**, 322–326 (1996).
105. *Gorman, B.M., Sofos, J.N., Morgan, J.B., Schmidt, G.R.* and *Smith, G.C.:* Evaluation of hand-trimming, various sanitizing agents, and hot water spray-washing as decontamination interventions for beef brisket adipose tissue. J. Food Prot. **58**, 899–907 (1995).
106. *Malik, R.K., Kumar, N., Nageswara Rao, K.* and *Mathur, D.K.:* Bacteriocins – Antibacterial proteins of lactic acid bacteria: A review. Microbiologie-Aliments-Nutrition **12**, 117–132 (1994).
107. *Ellerbroek, L., Okolocha, E.M.* und *Weise, E.:* Zur Dekontamination von Geflügel mit Trinatriumphosphat und Milchsäure. Fleischwirtsch. **77**, 1092–1094 (1997).
108. *Knauf, H.:* Wissenswertes über Starterkulturen für die Fleischwarenherstellung. 1. Entwicklung und Eigenschaften von Starterkulturen. Fleischwirtsch. **77**, 1099–1102 (1997).
109. *Hwang, Ch.-A.* and *Beuchat, L.R.:* Efficacy of selected chemicals for killing pathogenic and spoilage microorganisms on chicken skin. J. Food Prot. **58**, 19–23 (1995).
110. *Bawcom, D.W., Thompson, L.D., Miller, M.F.* and *Ramsey, C.B.:* Reduction of microorganisms on beef surfaces utilizing electricity. J. Food Prot. **58**, 35–38 (1995).
111. *Slavik, M.F., Kim, J.-W., Pharr, M.D., Raben, D.P., Tsai, S.* and *Lobsinger, Chr.M.:* Effect of trisodium phosphate on Campylobacter attached to post-chill chicken carcasses. J. Food Prot. **57**, 324–326 (1994).
112. *Lillard, H.S.:* Effect of trisodium phosphate on Salmonellae attached to chicken skin. J. Food Prot. **57**, 465–469 (1994).
113. *Dickson, J.S., Cutter, C.G.N.* and *Siragusa, G.R.:* Antimicrobial effects of trisodium phosphate against bacteria attached to beef tissue. J. Food Prot. **57**, 952–955 (1994).

114. *García Zepeda, C.M., Kastner, C.L., Willard, B.L., Phebus, R.K., Schwenke, J.R., Fijal, B.A.* and *Prasai, R.K.:* Gluconic acid as a fresh beef decontaminant. J. Food Prot. **57**, 956–962 (1994).
115. *Cutter, C.N.* and *Siragusa, G.R.:* Treatments with nisin and chelators to reduce *Salmonella* and *Escherichia coli* on beef. J. Food Prot. **58**, 1028–1030 (1995).
116. *Shefet, S.M., Sheldon, B.W.* and *Klaenhammer, T.R.:* Efficacy of optimized nisin-based treatments to inhibit *Salmonella typhimurium* and extend shelf life of broiler carcasses. J. Food Prot. **58**, 1077–1082 (1995).
117. *Dorsa, W.J., Cutter, C.N., Siragusa, G.R.* and *Koohmaraie, M.:* Microbial decontamination of beef and sheep carcasses by steam, hot water spray washes, and steam-vacuum sanitizer. J. Food Prot. **59**, 127–135 (1996).
118. *Li, Y., Walker, J.T., Slavik, M.F.* and *Wang, H.:* Electrical treatment of poultry chiller water to destroy *Campylobacter jejuni*. J. Food Prot. **58**, 1330–1334 (1995).
119. *Slavik, M.F., Kim, J.-W., Li, Y., Walker, J.T.* and *Wang, H.:* Morphological changes *of Salmonella typhimurium* caused by electrical stimulation in various salt solutions. J. Food Prot. **58**, 375–380 (1995).
120. *Cutter, C.N.* and *Dorsa, W.J.:* Chlorine dioxide spray washes for reducing fecal contamination of beef. J. Food Prot. **58**, 1294–1296 (1995).
121. *Ak, N.O., Cliver, D.O.* and *Kaspar, C.W.:* Cutting boards of plastic and wood contaminated experimentally with bacteria. J. Food Prot. **57**, 16–22 (1994).
122. *Kim, K.Y.* and *Frank, J.F.:* Effect of nutrients on attachment of *Listeria monocytogenes* to stainless steel. J. Food Prot. **57**, 720–726 (1994).
123. *Fratamico, P.M., Schultz, F.J., Bendict, R.C., Buchanan, R.L.* and *Cooke, P.H.:* Factors influencing attachment of Escherichia coli O157:H7 to beef tisues and removal using selected sanitizing rinses. J. Food Prot. **59**, 453–459 (1996).
124. *Lou, Y.* and *Yousef, A.E.:* Resistance of Listeria monocytogenes to heat after adaptation to environmental stresses. J. Food Prot. **59**, 465–471 (1996).
125. *Lantieri, M.-F.:* Un concept nouveau: les molécules chaperons. La Recherche, no 198, 524–525 (1988).
126. *Morange, M.:* Les molécules chaperons. La Recherche **24**, 1238–1244 (1993).
127. *Habert, P.:* Film bactérien – Le défi de l'ultra-propreté. La Recherche **25**, 330–332 (1994).
128. *Nottingham, P.M.:* Microbiology of carcass meats. In: Brown, M.H. (ed.), Meat microbiology, 13–65. Applied Science Publishers Ltd., London and New York 1982.
129. *Board, R.G.:* A modern introduction to food microbiology. In: Wilkinson, J.F. (ed.), Basic Microbiology, Vol. 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne 1983.
130. *Bal'a, M.F.A.* and *Marshall, D.L.:* Use of double-gradient plates to study combined effects of salt, pH, monolaurin, and temperature on Listeria monocytogenes. J. Food Prot. **59**, 601–607 (1996).
131. *Weber, H. (Hrsg.):* Mikrobiologie der Lebensmittel. Milch und Milchprodukte, 1. Aufl. Behr's Verlag, Hamburg 1996.

Jacques-Henri Penseyres
Laboratoire agroalimentaire fribourgeois
Grangeneuve
CH-1725 Posieux