

Aspekte des mikrobiellen Verderbs von Lebensmitteln

Autor(en): **Schmitt, Rudolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène**

Band (Jahr): **90 (1999)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-981768>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aspekte des mikrobiellen Verderbs von Lebensmitteln*

Rudolf Schmitt, Ecole d'Ingénieurs du Valais, Sion

Einleitung

Die meisten der heute vermarkteten Lebensmittel werden mittels Verfahren haltbar gemacht, die gefunden wurden, ohne dass die Mikroorganismen oder die Vorgänge, die zum Verderb führen, auch nur ansatzweise bekannt waren. Der Naturforscher John Tuberville *Needham* beschrieb 1748, wie er Hammelfleischsaft erhitzte, heiss in eine Phiole füllte, diese mit einem Korken verschloss, und wie dieser Saft nach ein paar Tagen genauso von Keimen wimmelte, wie ein direkt in der Phiole erhitzter Fleischsaft, obwohl er ihn doch «... *effectively excluded ... from Insects, or Eggs floating in the Atmosphere...*» (1). Man glaubte damals an die Urzeugung des Lebens und nicht an Rekontaminationen oder hitzeresistente Lebensformen. Fast 90 Jahre später stellte Theodor *Schwann* (2) ähnliche Versuche an, doch liess er den Fleischsaft nach dem Kochen so abkühlen, dass die eintretende Luft vorher erhitzt wurde. Der Fleischsaft verdarb in der Folge nicht. Aus diesen und anderen Versuchen leitete Schwann ab, dass sich beim Verderb die Keime von den organischen Substanzen des Fleischsaftes ernähren, diesen dabei zersetzen und den Verderbsgeruch ausscheiden, der unter anderem H₂S enthält. Schwann war ein guter Experimentator und in der Interpretation seiner Ergebnisse der damaligen Zeit voraus. Unter dem Einfluss des mächtigen Liebig wurden jedoch seine Schlussfolgerungen bis zu den Arbeiten Louis Pasteurs, 25 Jahre später, abgelehnt.

Menschen und Mikroorganismen sind, was unsere Lebensmittel betrifft, *Kommensalen* im ursprünglichen Sinn des Wortes: beide sitzen zusammen zu Tisch. Beider Verhalten sowie die Zusammensetzung und Struktur der Lebensmittel entscheiden, ob sie von den Mikroorganismen oder den Menschen verzehrt werden. Sollte der Mensch die angebotenen Speisen und Getränke nicht als verdorben betrachten und somit wegen ihres Aussehens, Geruchs oder Geschmacks ablehnen, wird er kurzerhand seine Tischgenossen, die Mikroorganismen, gleich mit verzehren. Es handelt sich gewissermassen um einen Wettlauf mit der Zeit, und ob es die Mikroor-

* Vortrag gehalten an der 31. Arbeitstagung der Schweiz. Gesellschaft für Lebensmittelhygiene, Zürich, 19. November 1998

ganismen schaffen, sich soweit zu vermehren und das vorliegende Substrat zu zersetzen, dass es uns Menschen als verdorben erscheint, hängt von einigen Parametern ab. Die Erscheinungsbilder des Verderbs sind bekannt, aber es gibt individuell und kulturell unterschiedliche Auffassungen, wann ein Produkt als verdorben zu betrachten ist. Dies schliesst auch die Gruppe der fermentierten Lebensmittel mit ein, deren im Vergleich zum Ausgangsmaterial veränderte Eigenschaften sogar geschätzt werden. Der Mensch entscheidet sehr subjektiv über verdorben oder erwünscht, und zwar nach seiner Erfahrung und dem Ergebnis seiner persönlichen sensorischen Wahrnehmung.

Faktoren, die den mikrobiellen Verderb bestimmen

Bedingt durch ihre Herkunft bringen Rohstoffe und Ausgangsmaterialien eine Vielfalt an Mikroorganismen mit. Davon werden nicht alle die Verarbeitungsprozesse überleben oder sich auf oder im Lebensmittel vermehren können. Die Gründe, warum nicht alle vorhandenen, sondern nur bestimmte Mikroorganismenarten in einem Lebensmittel zur Entwicklung kommen, sind im Zusammenwirken zahlreicher Faktoren zu suchen. Diese bestimmen die Entstehung der dominanten Mikroflora und beeinflussen auch deren Eigenschaften. Tabelle 1 ist eine Zusammenstellung der ökologischen Faktoren, welche die Dynamik der Besiedlung von Lebensmitteln und die mikrobielle Aktivität beeinflussen. Hierzu gehören die bekannten physikalischen, chemischen und biologischen Parameter, die einerseits den inneren Aufbau von Lebensmitteln beschreiben und andererseits als wichtige äussere Faktoren wirken, wie Temperatur, relative Feuchte und Zusammensetzung der Gasatmosphäre. Die Wechselwirkung zwischen Mikroorganismen und Lebensmitteln wird auch durch die Eigenschaften der Mikroorganismen selbst bestimmt. Die Konsumenten beurteilen Lebensmittel erst beim Vorliegen sensorisch wahrnehmbarer Veränderungen als verdorben. Diese treten etwa ab 10^6 Bakterien pro g oder cm^2 auf. Enzymatisch nicht oder nur schwach aktive Mikroorganismen werden nicht bemerkt, auch nicht, wenn sie in grossen Zahlen vorhanden sind. Die Keimdichte, die notwendig ist, um sensorische Veränderungen hervorzurufen, variiert sehr stark und hängt wesentlich von der Natur und dem Ausmass der metabolischen Aktivität der Verderbsflora ab. Weiterhin gehören zum Verständnis der Mechanismen, die zum mikrobiellen Verderb führen, die verschiedenen Kontaminationswege und die Verarbeitungsprozesse. Als wichtigster Faktor für die Entstehung von Verderbserscheinungen ist die Zeit zu nennen. Die unterschiedlichen Verderbsprozesse benötigen je nach Produkt Stunden oder Tage.

Wege, die zum mikrobiellen Verderb führen

Zu Verderbserscheinungen kommt es nur, wenn die Bestandteile der Lebensmittel zu sensorisch wahrnehmbaren Molekülen umgewandelt werden (Abb. 1). Dabei bestimmen zuerst ökologische Faktoren über die Ansiedlung, die Vermehrung und die Abfolge der verschiedenen Arten. Die physiko-chemischen Eigenschaften der

Tabelle 1

Wichtige ökologische Faktoren, die die Dynamik der Besiedlung von Lebensmitteln sowie deren Veränderungen im Laufe des mikrobiellen Verderbs prägen (nach (3), erweitert)

Kontaminationsquellen	Hauptsächliche ökologische Faktoren			
	Innere Faktoren <i>Intrinsic factors</i>	Äussere Faktoren <i>Extrinsic factors</i>	Mikrobiologische Faktoren <i>Implicit factors</i>	Verarbeitung <i>Processing factors</i>
Ubiquitäre Standorte Boden, Staub, Luft, Wasser	Physikalische Faktoren Wasseraktivität (a_w), Säuregrad (pH), Pufferkapazität, Redoxpotential (E_h)	Temperatur Feuchtigkeit Atmosphäre	Vermehrungsansprüche Wachstumsrate Interaktionen Synergien, Antagonismen	Veränderung der Struktur und Zusammensetzung Mahlen, Zerkleinern, Mischen, Kneten, Homogenisieren
Spezifische Nischen Fabrikationsräume, Werkzeuge, Geräte, Maschinen Vektoren Personal, Insekten, Nagetiere	Chemische Faktoren Nährstoffe, antimikrobielle Substanzen Biologische Faktoren Gewebestruktur			Haltbarmachungsverfahren Erhitzen, Kühlen, Trocknen, chemische Zusätze Verpacken Lagern Transportieren Reinigen und Desinfizieren

Lebensmittel sind in erster Linie dafür verantwortlich, welche Mikroflora sich entwickelt. Eine spezifische Verderbsflora manifestiert sich schliesslich in Folge von Verarbeitungs- und Lagerbedingungen. Dadurch werden geeignete Bedingungen hinsichtlich Nährstoffangebot, a_w -Wert, Temperatur oder Zusammensetzung der Atmosphäre geschaffen, und ein Teil der Flora kann sich durchsetzen. Die Ausbildung typischer Verderberserscheinungen hängt sowohl vom Vorhandensein geeigneter Substrate wie Zucker, freie Aminosäuren, Proteine oder Lipide ab als auch von der enzymatischen Aktivität der spezifischen Verderbsorganismen. Deren Wachstum erfolgt auf Kosten der gelösten niedermolekularen Substanzen, wobei zuerst Mono- und Disaccharide und danach Aminosäuren und organische Säuren assimiliert werden (4). Das Auftreten erster Verderbsgerüche hängt mit dem einsetzenden Abbau von Aminosäuren zusammen, der nach Erschöpfen der Glucosevorräte beginnt. Dies tritt bei tierischen Lebensmitteln bei einer Keimzahl von etwa 10^7 pro g oder cm^2 ein, weitgehend unabhängig von der Art des Lebensmittels (5). Wahrnehmbare Proteolyse und Lipolyse setzen in einem noch späteren Stadium des Verderbs ein. Meist liegen dann Bakteriendichten von 10^8 bis 10^9 pro cm^2 vor (6).

Vielfalt der Kontaminationsflora

Die ursprüngliche Kontaminationsflora wird sehr stark vom Umfeld bestimmt, aus dem die Lebensmittel stammen. Als Beispiel soll die Zusammensetzung der Mikroflora von Seefischen dienen, bei denen unmittelbar nach dem Fang die in den entsprechenden Meereszonen vorhandenen Mikroorganismen anzutreffen sind. Fische aus kühlen Meereszonen ($< 10\text{ }^\circ\text{C}$) bringen etwa 10^2 bis 10^4 psychrotrophe

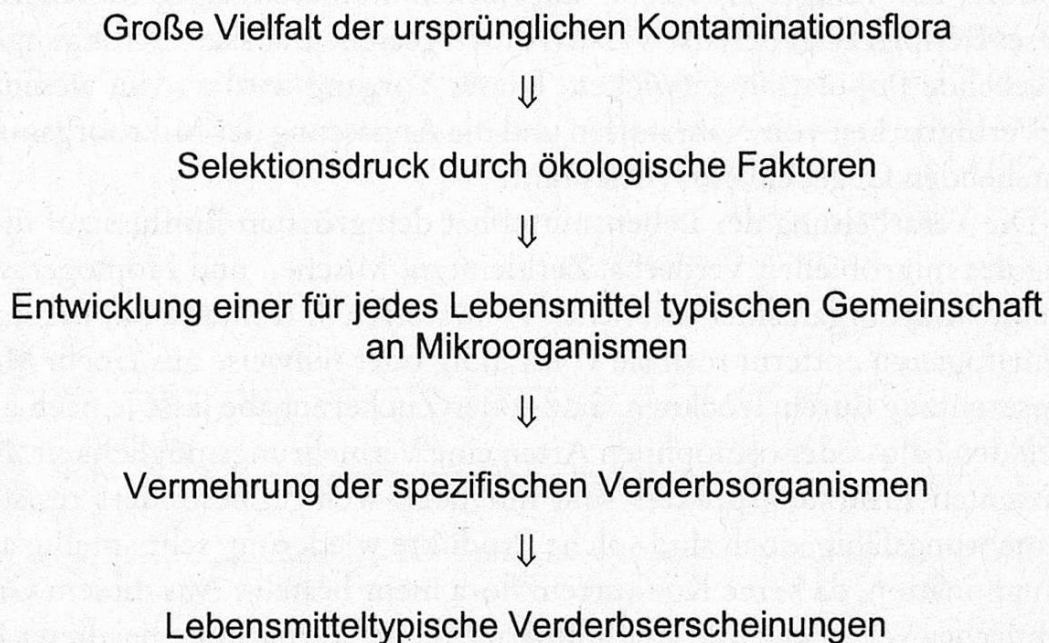


Abbildung 1. **Der Weg von der Kontamination mit Mikroorganismen bis zum Auftreten von Verderberscheinungen**

Bakterien pro cm^2 Haut mit, darunter vor allem Pseudomonaden, *Shewanella*, *Psychrobacter*, *Flavobacterium*, *Vibrio* und *Acinetobacter* (5). Aus einer warmen See werden Fische mit 10^3 bis 10^6 mesophilen Bakterien pro cm^2 gefangen, wobei *Bacillus*, *Micrococcus* und Corynebakterien über 50 % der Flora ausmachen. Alle Arten, die sich auf Seefischen befinden, sind halotolerant; Hefen und Schimmelpilze sind nur wenige anzutreffen. Fische aus Süßwasser enthalten dieselben Arten mit dem Unterschied, dass die Vibrionen durch *Aeromonas* ersetzt sind.

Selektionsdruck durch ökologische Faktoren

Sofern keine Pasteurisation oder Sterilisation erfolgt, werden nach der Ernte, der Schlachtung oder dem Fang diejenigen Mikroorganismen begünstigt, deren physiologische Eigenschaften am besten mit den Bedingungen, die im Biotop Lebensmittel herrschen, in Einklang zu bringen sind. Am Beispiel der Schlachtgeflügel, die unmittelbar nach dem Schlachten in gasundurchlässige Folien verpackt werden, soll dies gezeigt werden (7). Werden auf diese Weise verpackte Schlachtkörper bei 4°C gelagert, sinkt der Sauerstoffgehalt durch die Aktivität aerober Arten, und die Konzentration an CO_2 nimmt zu. Unter diesen Bedingungen werden Pseudomonaden in ihrer Vermehrung gehemmt und mikroaerophile und fakultativ anaerobe Arten wie Enterobacteriaceen, Lactobacillen und *Brochothrix thermosphacta* werden bevorzugt. Letztere sind nicht proteolytisch aktiv und verursachen weniger auffällige sensorische Abweichungen. Es genügen bereits 3 % CO_2 , um das Wachstum von Pseudomonaden zu hemmen, während *B. thermosphacta* und Lactobacillen davon eher stimuliert werden. Ist bei einer CO_2 -Konzentration von 3 bis 50 % noch Sauerstoff vorhanden, wird *B. thermosphacta* zum Hauptvertreter in der Mikroflora, bei weniger als 0,2 % Sauerstoff dominieren dagegen die Lactobacillen. Dieses Beispiel zeigt bereits, wie sich durch geeignete äussere Bedingungen eine entsprechende Population entwickelt. Dieser Vorgang wird zudem wesentlich durch die Verfügbarkeit von Nährstoffen und die Anpassung der Mikroorganismen an die bestehenden Gegebenheiten bestimmt.

Die Verarbeitung der Lebensmittel hat den grössten Einfluss auf die Entwicklung des mikrobiellen Verderbs. Zerkleinern, Mischen und Homogenisieren bringen die Mikroorganismen mit neuen Nährstoffen in Kontakt, durch Filtrieren oder Zentrifugieren entfernt man sie vollständig oder teilweise aus einem Medium. Ein Wasserentzug durch Trocknen, Salz- oder Zuckerzugabe lässt je nach a_w -Wert nur noch den halo- oder osmophilen Arten eine Vermehrungsmöglichkeit. Nach einem effizienten Erhitzungsprozess sind nur noch wenige, besonders resistente Arten vermehrungsfähig, doch sind solche Produkte wiederum sehr anfällig auf eine Rekontamination, da keine Konkurrenzflora mehr besteht. Aus diesem Grund haben aseptisches Verpacken und eine keimarme dichte Verpackung bei dieser Lebensmittelgruppe eine sehr grosse Bedeutung. Kühlen, Gefrieren und Ansäuern sind weitere bekannte und weitverbreitete Verfahren, um Lebensmittel vor Verderb zu schützen.

Vermehrung spezifischer Verderbsorganismen

Bei allen Verarbeitungsverfahren spielt ein Parameter eine wichtige Rolle, den der Mensch leicht vergisst: die Zeit. Erst wenn man ihnen genügend Zeit lässt, haben Mikroorganismen Gelegenheit, sich in einem Produkt zu vermehren. Das Wort «genügend» in diesem Satz hängt wiederum mit den in Tabelle 1 dargestellten ökologischen Faktoren zusammen. Hierfür gibt es viele Beispiele. Das langsame Abkühlen von grossen Mengen flüssiger oder cremiger Produkte fördert das Auskeimen nicht inaktivierter Sporen, und während einer zu langen Standzeit bei Raumtemperatur werden hohe Keimzahlen erreicht. In diesem Fall beträgt die Zeitspanne meist nur einige Stunden. Beim Antauen von gefrorenem Gemüse jedoch werden sich psychrotrophe Arten erst innerhalb von Tagen bemerkbar machen. Manche Hefen- und Schimmelpilzarten können sich bereits langsam vermehren, wenn die Temperatur $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ übersteigt (8). Bleibt ein Antauen wegen einer Störung des Tiefkühlers unbemerkt, werden die Produkte, sofern sie nicht schon sichtbar verdorben sind, mit einer entsprechend erhöhten Keimzahl im weiteren Verarbeitungsprozess eingesetzt und können auf diese Weise die mikrobiologische Stabilität der daraus hergestellten Endprodukte erheblich beeinträchtigen.

Dies führt zu einer wichtigen Überlegung. Obwohl jeder den Einfluss der Temperatur auf das Wachstum kennt, ist man sich viel zu wenig bewusst, dass nach ein paar Stunden bei Umgebungstemperatur die Keimzahl deutlich erhöht sein kann. Dies ist dann die neue Ausgangskeimzahl für alle weiteren Schritte – einschliesslich eines neuen Fehltritts bei der Temperaturführung. Bei der Warenannahme lassen sich solche Fehler auf seiten der Lieferanten nur durch mikrobiologische Analysen feststellen, die aber in den meisten Fällen nicht durchgeführt werden. Die Abhängigkeit zwischen Temperatur und Vermehrung ist für psychrotrophe und mesophile Bakterien in Abbildung 2 dargestellt. Sehr deutlich ist die «kritische Zone» zwischen 10 und $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu erkennen, in der eine sehr rasche Vermehrung erfolgt. Jedes

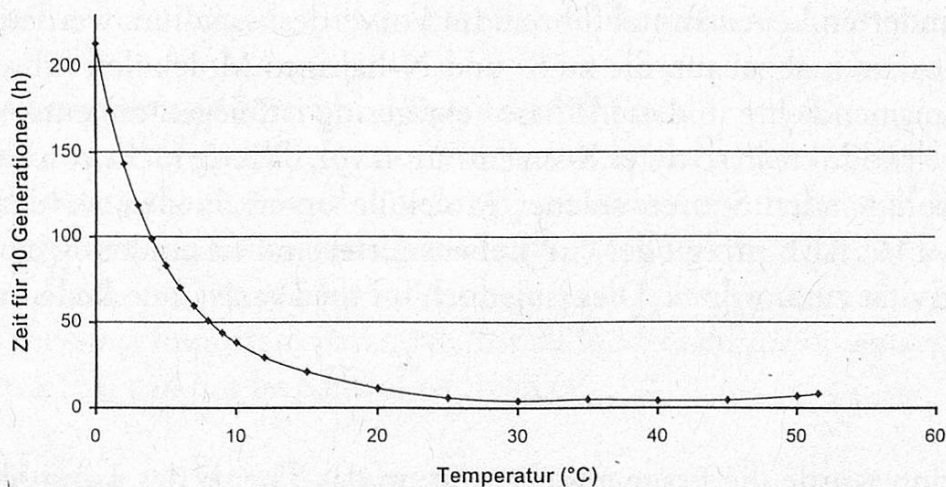


Abbildung 2 **Zeit (in Stunden) für die Vermehrung psychrotropher und mesophiler Bakterien in neutralen Lebensmitteln hoher relativer Feuchte in Abhängigkeit der Temperatur**

Grad Temperaturabsenkung bringt beim Kühlen eine erhebliche Verlängerung der Haltbarkeit. Je tiefer die Temperatur ist, desto steiler verläuft die Kurve und desto grösser ist die Hemmwirkung. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, strenge und konsequente Temperaturkontrollen zu verlangen – im eigenen Betrieb und bei den Lieferanten.

Ein anders gelagerter Fall ist die heute weitverbreitete Herstellung von Keimlingen aus Cerealien, Leguminosen oder anderen Samen, denn bei diesem Prozess ist es nicht möglich, Temperatur oder Zeit so zu verändern, dass sich unerwünschte Mikroorganismen nicht vermehren können. Beim Auskeimen solcher Sämlinge herrschen Bedingungen, die ideal für die Vermehrung mesophiler Mikroorganismen sind. Da das Ausgangsmaterial bereits mit 10^3 bis 10^5 aeroben mesophilen Keimen pro g belastet ist, verwundert es nicht, dass am Ende des Auskeimens Werte von weit über 10^8 KBE pro g erreicht werden. Dieser Prozess ist besonders kritisch zu beurteilen, wenn ein Wachstum von potentiell pathogenen Bakterien nicht ausgeschlossen werden kann. Die äusseren und inneren Faktoren lassen sich nicht selektiv verändern, um das Wachstum der Mikroorganismen zu hemmen, ohne gleichzeitig das Auskeimen der Sämlinge zu beeinträchtigen. Durch Blanchieren der Samen bei $70\text{ }^\circ\text{C}$ kann jedoch die Kontaminationsflora weitgehend entfernt werden, ohne die autochthone Flora zu schädigen. Am Ende des Auskeimens so behandelte Sämlinge liegen zwar auch 10^8 KBE pro g vor, doch herrschen Pseudomonaden, Lactobacillen und Hefen vor (9).

Verderberscheinungen

Für tierische Produkte wie Fleisch, Fisch, Geflügel und Milch liegen bisher die meisten Daten über sensorisch und chemisch nachweisbare Stoffwechselprodukte der Verderbsflora vor (10). Verschiedene Arbeitsgruppen haben versucht, Substanzen nachzuweisen, die mit dem Stadium zwischen Frische und einsetzendem Verderb korrelieren (11 – 13). Dies sollte zu einer rascheren Bestimmung der in ihrem Wert verminderten Lebensmittel führen. Im Vorverderbsstadium werden vor allem freie Aminosäuren abgebaut, die zu S- und N-haltigen Molekülen führen. Da die Mikroorganismendichte in dieser Phase sehr gering ist, liegen die entsprechenden Stoffwechselprodukte in so tiefer Konzentration vor, dass sie nicht von natürlicherweise vorkommenden Spuren solcher Moleküle unterschieden werden können. Erst ab etwa 10^6 KBE pro g oder cm^2 Lebensmittel sind sie eindeutig einer mikrobiellen Aktivität zuzuordnen. Dies ist jedoch für die Praxis ohne Bedeutung, da zu spät.

Ausblick

Zu Beginn wurde die Frage gestellt, warum das Thema des mikrobiellen Verderbs im ausgehenden 20. Jahrhundert immer noch eine hohe Aktualität besitzt. Sie werden dazu im Laufe des heutigen Tages verschiedene Antworten hören. Wir alle wissen, dass sich ein Heer von Leuten direkt oder indirekt mit Fragen des Verderbs

beschäftigt, Wissenschaftler, Techniker, Laborpersonal, Linienarbeiter, Lagerverwalter und Putzkolonnen, die Lebensmittelindustrie genauso wie die Lebensmittelkontrolle. Die modernen Verteil- und Konsumgewohnheiten, die weltumspannenden Transportwege und der Wunsch nach stets frischwertiger Nahrung, was immer das auch sei, tragen mit dazu bei, dass dieses Thema auch in den industrialisierten Ländern und auch im kommenden Jahrtausend aktuell bleiben wird. Zur Kontrolle des mikrobiellen Verderbs müssten alle Parameter aus Tabelle 1 beherrscht werden können. Dies wird noch auf lange Sicht nicht möglich sein. Damit steht für mich jetzt schon fest, wer in diesem Wettlauf um die Lebensmittel stets die Nase vorne haben wird, denn die Mikroorganismen haben einen unendlichen Vorteil gegenüber uns Menschen: sie schlafen nie.

Zusammenfassung

Die Bedeutung lebensmittelspezifischer und mikrobieller Parameter für die Entwicklung von Verderbserscheinungen wird diskutiert, angefangen bei der Besiedlung durch Mikroorganismen. Dabei werden Beispiele über die Zusammenhänge zwischen Kontaminationsflora und Herkunft der Rohprodukte sowie über den Einfluss von Verarbeitung und Lagerung auf die Entstehung des Verderbs gegeben. Unter allen diskutierten Parametern stellt sich der Zeitfaktor als wichtigste Grösse heraus, die häufig von den Menschen am wenigsten beherrscht wird.

Résumé

Le rôle des paramètres spécifiques aux aliments et aux micro-organismes, en ce qui concerne la colonisation des denrées et l'apparence des aspects de l'altération, est discuté. La durabilité des aliments dépend de la relation entre la flore initiale et l'origine des matières premières, ainsi que de l'influence des transformations et du stockage des produits alimentaires sur le développement d'une flore d'altération. Il apparaît que le temps est le facteur le plus important durant toutes les opérations de transformation. Très souvent, ce paramètre n'est pas maîtrisé par l'homme.

Summary «Aspects of Microbial Spoilage of Food»

The importance of specific food and microorganism parameters is discussed in the view of colonisation of food and the appearance of spoilage. Shelf-life of food depends on the relation between the initial microflora and the origin of raw material and on the influence of processing and storage on the development of a spoiling flora. Time is the most important parameter for all food-handling operations and very often a factor that can not be controlled by man.

Key words

Spoilage, Shelf-life, Microflora, Saprophytic microorganisms

Literatur

- 1 *Needham, J.T.*: A Summary of some late observations upon the generation, composition, and decomposition of animal and vegetable substances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **45**, No. 490, 615–666 (1748).
- 2 *Schwann, T.*: Vorläufige Mittheilung betreffend Versuche über die Weingährung und Fäulnis. *Ann. Physik Chemie* **41**, 184–193 (1837).
- 3 *Mossel, D.A.A.*: Essentials and perspectives of the microbial ecology of foods. In: Roberts, T.A. and Skinner, F.A. (eds.), *Food microbiology: Advances and prospects*, p. 1–45. Academic Press, London 1983.
- 4 *Jay, M.J.*: *Modern food microbiology*, 5. Auflage. Chapman & Hall, New York 1996.
- 5 *ICMSF*: *Microorganisms in foods 6. Microbial ecology of food commodities*. Blackie Academic & Professional, London 1998.
- 6 *Kraft, A.A.*: *Psychrotrophic bacteria in foods: disease and spoilage*. CRC Press, Boca Raton 1992.
- 7 *Studer, P., Schmitt, R.E., Gallo, L. and Schmidt-Lorenz, W.*: Microbial spoilage of refrigerated fresh broilers. II. Effect of packaging on microbial association of poultry carcasses. *Lebensm.-Wiss. Technol.* **21**, 224–228 (1988).
- 8 *Pitt, J.I. and Hocking, A.D.*: *Fungi and food spoilage*, Second edition. Blackie Academic & Professional, London 1997.
- 9 *Imboden, A., Forré, C., Rowiller, M., Zenhäusern, T. und Gremion, V.*: Projektarbeit über Parameter der Selbstkontrolle bei der Herstellung von Sprossen und Keimlingen. Unveröffentlichte Daten. Ecole d'Ingénieurs du Valais, Sion 1998.
- 10 *Charalambous, G.*: *Shelf life studies of foods and beverages: chemical, biological, physical and nutritional aspects*. Elsevier, Amsterdam 1993.
- 11 *Dainty, R.H. and Mackey, B.M.*: The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chill-stored meat and spoilage processes. *J. Appl. Bact. Symposium Supplement* **73**, 103S–114S (1992).
- 12 *Viehweg, S.H., Schmitt, R.E. and Schmidt-Lorenz, W.*: Microbial spoilage of refrigerated fresh broilers. VI. Identification of the volatile compounds produced during microbial spoilage of chicken carcasses. *Lebensm.-Wiss. Technol.* **22**, 346–355 (1989).
- 13 *Schmitt, R.E. and Schmidt-Lorenz, W.*: Degradation of amino acids and protein changes during microbial spoilage of chilled unpacked and packed chicken carcasses. *Lebensm.-Wiss. Technol.* **25**, 11–20 (1992).

Rudolf Schmitt, Ecole d'Ingénieurs du Valais, Route du Rawyl 47, CH-1950 Sion