

Nr. 8 August 2008



Dr. Rolf Steinmüller
Neogen Corporation
Auchincruive Ayr KA6
5HW Scotland UK
E-Mail: r.steinmueller
@neogeneurope.com

Gewöhnlich werden Mikroorganismen ausschließlich mit Krankheiten in Verbindung gebracht. Leicht wird dabei übersehen, dass viele Mikroorganismen nützliche und hilfreiche Lebewesen sind, von denen Mensch und Natur profitieren. Gleichwohl sind manche Mikroben so gefährlich, dass ihre Aktivitäten sich negativ auf die Gesundheit von Mensch, Tier oder Pflanze auswirken können. Dieser Grundlagen-Beitrag eröffnet eine Serie zum Thema Mikrobiologie.

Lebensmittel-relevante Mikroorganismen (Teil 1)

Mikroorganismen sind allgegenwärtig und besiedeln nahezu alle Bereiche. Sie sind daher auch in oder auf den meisten Lebensmitteln – erwünscht oder unerwünscht – vorhanden. Erwünscht sind sie, wenn sie zur Herstellung oder Veredelung von Lebensmitteln dienen, selbst als Lebensmittel fungieren oder für die Biotechnologie eingesetzt werden. Unerwünscht sind sie, wenn sie Lebensmittel verderben oder wenn pathogene Mikroorganismen oder deren Toxine durch Lebensmittel übertragen werden (◆ Abbildung 1). Diese Trennung ist jedoch keine scharfe, sondern es existieren alle möglichen Übergänge.

In dieser Beitragsreihe werden sowohl die negativen als auch die positiven Aspekte der Lebensmittel-relevanten Mikroorganismen erörtert und die einzelnen Organismen in Form von Steckbriefen detailliert beschrieben.

Definition

Zu den Mikroorganismen bzw. Mikroben, manchmal umgangssprachlich auch „Keime“ genannt, zählen all die Lebewesen, die als einzelne Individuen zu klein sind, um mit dem bloßen Auge gesehen zu werden. Sie können nur mit mikrobiologischen Methoden untersucht werden.

Mikroorganismen sind keine einheitliche Gruppe. Es handelt sich lediglich um einen Sammelbegriff für Kleinlebewesen, die meist nur aus einer Zelle bestehen und sich in ihren Merkmalen und Zellstrukturen sehr unterscheiden. Mikroben können in fünf Gruppen unterteilt werden: Bakterien, Archaeen, Pilze, Protozoen und mikroskopische Algen (◆ Tabelle 1). Taxonomisch werden heute alle Lebewesen in drei grundlegende „Domänen“ eingeteilt: Bakterien (Bacteria – aus-

schließlich Mikroorganismen), Archaeen (Archaea – ausschließlich Mikroorganismen) und Eukaryoten (Eukarya). Zu der letzten Gruppe, den „höheren Organismen“ zählen neben den Tieren und Pflanzen auch einige Mikroorganismen, nämlich die Pilze, Protozoen und die einzelligen Algen. Dieses System der Einteilung basiert auf der Grundlage der unterschiedlichen rRNA-Struktur und wurde von Carl R. WOESE von der University of Illinois vor etwa 20 Jahren eingeführt. Viren, Viroide und Prionen, die nicht generell unter Lebewesen eingeordnet werden¹, unterliegen einer eigenen Klassifikation.

Häufig neigen wir dazu, Mikroorganismen als im Wesentlichen „primitive“ Geschöpfe zu betrachten. Im Vergleich zu den vielzelligen Tieren, die aus vielen verschiedenen Organen und Geweben bestehen, und zu den Pflanzen mit ihren Blättern, Blüten und teils gigantischen Ausmaßen, scheinen Mikroben einfache Organismen zu sein. Dabei sind sie bei genauer Betrachtung bei weitem nicht so primitiv, wie vielfach behauptet wird. Viele Mikroorganismen sind z. B. autonom im Hinblick auf Substanzen wie Vitamine und Aminosäuren, die wir Menschen und auch alle anderen so genannten „höheren Tiere“ mit der Nahrung aufneh-

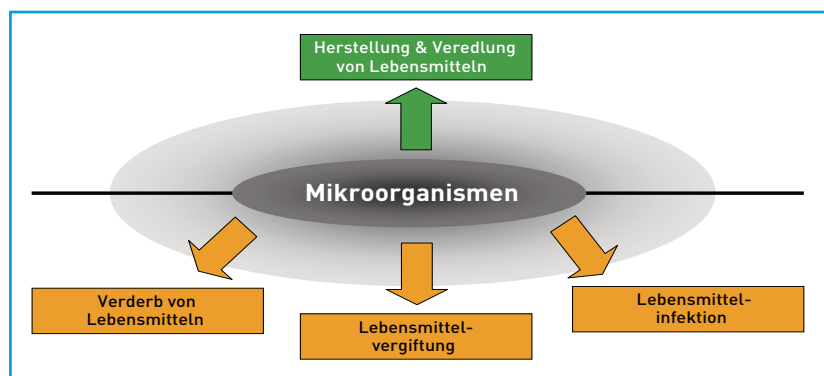


Abb. 1: Schäden und Nutzen von Mikroben im Lebensmittelbereich
(mod. nach Keweloh H. Mikroorganismen in Lebensmitteln. Pfanneberg, 2006)

¹Zur Definition und Nomenklatur von „Lebewesen“ vgl. Ernährungslehre & -praxis in Ernährungs Umschau 4/2008 B21–B24

Bacteria	Bakterien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bakterien wurden früher in Abgrenzung zu den „Archaeobakterien“ auch als „Eubakterien“ bezeichnet ■ Bakterien zählen in Abgrenzung zu den Eukaryonten, zusammen mit den Archaea, zu den Prokaryoten ■ Bakterien besitzen keinen echten Zellkern, ihre DNA liegt frei im Cytoplasma ■ Bakterien besitzen nur eine wenig differenzierte Morphologie, die sich hauptsächlich von einer Stäbchen- oder Kugelform ableitet ■ Bakterien bestehen nur aus einer Zelle, auch wenn sie oft in Gemeinschaft mit anderen leben
	Archaeen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Archaeen wurden früher zu den Bakterien gezählt und als „Archaeobakterien“ bezeichnet ■ Archaeen besitzen typische bakterielle Eigenschaften, z. B. die Zellgröße, das Fehlen eines Zellkerns, die Art der Zellteilung, sie besitzen ein in sich geschlossenes DNA-Molekül, ebenfalls verhältnismäßig einfach aufgebaute Fortbewegungs„organe“ (Geißeln) und wie die Bakterien Ribosomen mit dem Sedimentationskoeffizienten 70S. Wichtige Unterschiede zu Bakterien sind z.B Stabilität von Membran- und Zellwandstrukturen, Komponenten der Transkriptions- und Translationssysteme
Eukaryota	Pilze	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pilze (Fungi) sind wesentlich größer und im Zellaufbau komplexer als Bakterien und Archaeen, besitzen im Gegensatz zu den Prokaryoten einen Zellkern und gehören somit zu den Eukaryoten ■ Pilze kommen – wie die Backhefe – als Einzeller oder wie Mycelpilze als Mehrzeller vor. ■ Vermehrung und Ausbreitung erfolgt geschlechtlich und ungeschlechtlich durch Sporen oder vegetativ durch Ausbreitung (eventuell mit Fragmentierung) ■ Pilze sind heterotroph und ernähren sich meist dadurch, dass sie Enzyme in die unmittelbare Umgebung ausscheiden und damit polymere, wasserunlösliche Nährstoffe aufschließen und in die Zellen aufnehmen. ■ Pilze unterscheiden sich von Pflanzen durch ihre heterotrophe Lebensweise ohne Photosynthese, die meisten auch durch das Vorkommen von Chitin in der Zellwand. ■ Pilzzellen unterscheiden sich von Zellen der Tiere unter anderem durch das Vorhandensein einer Zellwand.
	Protozoen	<ul style="list-style-type: none"> ■ „Protozoen“, auch Urtiere, ist eine veraltete Bezeichnung für aufgrund ihrer heterotrophen Lebensweise und ihrer Mobilität früher als tierisch angesehene Einzeller, die keine Zellwand, aber im Gegensatz zu Bakterien einen Zellkern besitzen, also Eukaryoten sind.
	Mikroalgen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Algen umfassen im Wasser lebende, eukaryotische, pflanzenartige Lebewesen, die Photosynthese betreiben ■ Ein- bis wenigzellige Algen werden als Mikroalgen bezeichnet

Tab. 1: Einteilung der Mikroorganismen

men müssen. Des Weiteren sind die Mikroben den höheren Organismen auf dem Gebiet der Vermehrungsgeschwindigkeit, der weiten Verbreitung, der hohen Stoffumsätze und der großen Anpassungsfähigkeit des Stoffwechsels an die unterschiedlichsten Umweltbedingungen weit überlegen.

Bedeutung und Vorkommen

Mikroben sind Spitzenreiter an Zahl und Vielfältigkeit

Letztlich bilden Mikroorganismen die Grundlage allen Lebens; sie waren nicht nur die ersten, sondern auch für die längste Zeit der Erdgeschichte die einzigen Lebewesen und schufen durch ihre Sauerstoffproduktion überhaupt erst die Voraussetzung für die Entstehung von Pflanzen und Tieren.

Noch heute übertreffen sie zahlenmäßig alle anderen Organismen. Schätzungsweise existieren auf der Erde circa 5×10^{30} Prokaryoten (Procaryota; von griechisch pro = bevor und karyon = Nuss, Kern, auch Monera genannt). Mikroben finden sich fast überall in der Biosphäre, insbesondere Bakterien und Archaeen haben fast jeden denkbaren Lebensraum auf der Erde erobert. Sie

sind in den niedrigsten Schichten des Grundwassers, in 11 000 m tiefen Meeresgräben, selbst in Gesteinsschichten von mehreren hundert Meter Tiefe anzutreffen. Sogar in 50 km Höhe der Atmosphäre finden sich noch Bakterien, trotz der dort auftretenden gefährlichen Strahlung. Derartig extreme Standorte sind jedoch nur wenigen Arten von Archaeen und Bakterien vorbehalten, die Mehrzahl der Mikroben besiedeln dieselben gemäßigten Lebensräume wie der Mensch.

Die einzelnen Mikroorganismen sind zwar äußerst klein, ihre gesamte Stoffwechselaktivität aber ist enorm und ihr Protoplasma stellt insgesamt die größte Biomasse auf der Erde dar. Verglichen mit der ungeheuren Zahl und Masse der Mikroorganismen, nimmt sich die Zahl der bislang identifizierten Arten bescheiden aus. Über dreihundert Jahre nach der Beschreibung der ersten Bakterien durch den niederländischen Naturforscher und Mikroskopbauer Antoni van Leeuwenhoek sind mit ca. 5 000 beschriebenen und katalogisierten Bakterienarten lediglich 1–5 % der geschätzten Artenvielfalt bekannt.

Das liegt v. a. daran, dass sich nur ein kleiner Teil der in der Umwelt vorkom-

menden Mikroorganismen als Reinkultur züchten lässt. Solche Kulturen sind jedoch die Voraussetzung für eine umfassende Identifizierung und Charakterisierung neuer Arten.

Mikroben sind „Alleskönner“ der Stoffwechselwege

Dass Mikroben in der Natur vor allem für die Mineralisierung organischer Substanz sorgen und so die globalen Stoffkreisläufe aufrechterhalten, ist seit langem bekannt. Sie tragen aber auch zum Aufbau von Biomasse (= in den Zellen/Geweben von Lebewesen gebundene Substanz) bei. Welch große ökologische Bedeutung den Mikroorganismen dabei zukommt, lässt sich daran ermesen, dass Prokaryoten rund die Hälfte des gesamten in der Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs bergen.

Die biochemischen Leistungen der Mikroorganismen sind einzigartig, v. a. die Prokaryoten weisen eine beeindruckende Vielfalt und Anpassungsfähigkeit der Stoffwechselprozesse auf. Es existiert kaum eine organische Substanz, die sie nicht verstoffwechseln können.

Kaum zu überschätzen ist die Bedeutung von Mikroorganismen bei Symbiosen. Der Begriff ist abgeleitet vom griechischen Verb *symbioun* = „zusammenleben“. Im biologischen Sinne ist damit die Vergesellschaftung von Individuen unterschiedlicher Arten gemeint, die für beide Symbiosepartner vorteilhaft ist. Eine weit verbreitete Symbiose ist die zwischen Pilzen und Pflanzen, die sog. **Mykorrhiza**, die in fast allen Pflanzenfamilien zu finden ist. Hierbei stehen die Pilzzellen (= Hyphen) mit den Wurzeln im Boden in engem Kontakt und wachsen bei einigen Formen sogar in die Wurzeln und in die pflanzlichen Zellen ein. Das Hyphengeflecht nimmt dabei einen viel größeren Bodenraum als die Wurzeln ein und versorgt die Pflanzen mit Phosphaten und Stickstoffverbindungen. Im Austausch erhalten die Pilze organische Substanzen, die die Pflanzen mittels Photosynthese aufbauen.

Auch im menschlichen Darm leben Unmengen von Mikroben, nämlich 10- bis 100-mal so viele Bakterien, wie es Zellen im Körper (ca. 10 Billionen = 10^{13} Zellen) gibt. Diese Darmflora lebt vor allem im Dickdarm und besteht aus 400 verschiedenen Arten, darunter vorwiegend Bakterien. Darüber hinaus besiedeln Mikroben die gesamten von außen erreichbaren Körperoberflächen, die Hautpartien, die Schleimhäute und die davon umgebenen Körperhöhlen, wie den gesamten Verdauungstrakt.

Die Fähigkeit einer großen Anzahl von Mikroben, für den Menschen wichtige Stoffe wie lebensrettende Antibiotika und andere nützliche Produkte – u. a. Enzyme – zu produzieren, wird in der Biotechnik vielfältig genutzt. Oft haben Mikroben nicht nur die Werkzeuge, sondern darüber hinaus auch die Ideen geliefert, die den Boom der Biowissenschaften in den vergangenen fünf Jahrzehnten erst ermöglichten. Sie wiesen den Weg in Richtung Gentechnik und dienen noch heute als wichtiges Instrumentarium in der Molekularbiologie.

Mikroben als Krankheitserreger

Daneben existiert auch eine „dunkle Seite“ der Mikroben, sie verursachen auch grauenhafte Epidemien – von den Pocken und der Pest der vergangenen

Jahrhunderte bis zur noch heute verbreitete Cholera. Historiker schreiben den Bakterien sogar eine entscheidende Rolle für die politische und kulturelle Entwicklung zu, da wahrscheinlich ganze Kriege durch den Einfluss dieser Mikroorganismen entschieden wurden. So soll z. B. der Russland-Feldzug Napoleons gescheitert sein, weil mehr Soldaten am Fleckfieber durch den Erreger *Rickettsia prowazeki* starben als durch die Verwicklung in Schlachten. Der britische Sachbuchautor Bernard DIXON formulierte diesen Umstand in seinem 1994 erschienen Buch: „Der Pilz, der John F. Kennedy zum Präsidenten machte ...: „Sie haben ganze Armeen vernichtet und dadurch große militärische Feldzüge effektiver vereitelt, als Taktik von Generälen oder die Intrigen von Politikern es je vermocht hätten“.

Mikroorganismen und Lebensmittel – vielfältige Wechselwirkungen

Mikroorganismen sind ubiquitär, d. h. überall in der Umwelt verbreitet: in der Luft, im Wasser und Abwasser, in Erde und Staub, auf Pflanzen, in und auf Tieren und Menschen. Trinkwasser und v. a. auch Lebensmittel stellen in dieser Hinsicht keine Ausnahme dar. Bezüglich Nutzung von Nahrungsquellen verhalten sich die verschiedenen Mikroorganismengruppen zwar außerordentlich differenziert, jedoch sind die allermeisten von ihnen zur Vermehrung auf Kohlenstoff- und Stickstoffquellen in einer für sie geeigneten Form angewiesen, da sie – mit wenigen Ausnahmen (Algen, Cyanobakterien und Purpurbakterien) – nicht in der Lage sind, CO_2 durch Photosynthese zu assimilieren und organische Substanz aus anorganischem Material zu bilden.

Lebensmittel enthalten diese organischen Stoffe hingegen im Überfluss und stellen infolgedessen für die Keime in den meisten Fällen ein passendes Substrat dar. Ferner macht die weite Verbreitung der Mikroben es unvermeidlich, dass Keime in Lebensmittel gelangen und unsere Nahrungsmittel stets mit einer vielfältigen Mikroflora besiedeln. Der Anteil der Krankheitserreger darunter ist jedoch erfreulicherweise verschwindend gering. In ge-

sundheitlicher Hinsicht sind die meisten Mikroben in Lebensmitteln gewissermaßen völlig unbedenklich.

Grundsätzlich sind also alle Lebensmittel, soweit es sich nicht um sterilisierte (keimfreie) Dosenware handelt, mit Keimen unterschiedlichster Art und Menge behaftet. Bei richtiger Behandlung der Lebensmittel während der Aufbewahrung oder Verarbeitung richten diese Keime auch keinen Schaden an. („Richtige Behandlung“ kann für die einzelnen Lebensmittel allerdings Unterschiedliches bedeuten: Kühlpflichtige Lebensmittel wie Milch oder rohes Fleisch müssen ausreichend gekühlt und während der Verarbeitung ausreichend erhitzt werden, damit anhaftende Keime abgetötet werden.) Die meisten Keime führen allerdings bei zu starker Vermehrung im Lebensmittel aufgrund ihrer metabolischen Aktivität zum Verderb von Lebensmitteln und daher letztlich zu ökonomischen Schäden. Dies gilt vor allem für Produkte wie Fleisch, Geflügel oder Eier und andere leicht verderbliche Lebensmittel, die besonders anfällig sind gegenüber mikrobiellem Verderb.

Einige unter den mikrobiellen Verderbniserregern (Saprophyten) bauen Proteine ab und können **Fäulnis** bewirken (Proteolyten), andere metabolisieren bevorzugt Kohlenhydrate und verursachen **Säuerung** und **Gärung** (Glykolyten) oder spalten Neutralfette (Lipolyten) und begünstigen so das **Ranzigwerden** fettreicher Lebensmittel.

Mikroben in Lebensmitteln – nicht generell unerwünscht

Eine Vielzahl von Lebensmitteln würde allerdings ohne Vermehrung und Stoffwechselaktivität von ganz bestimmten Keimgruppen ihre typische Beschaffenheit nicht erhalten.

Bereits seit langer Zeit werden Mikroorganismen zur Produktion von Lebensmitteln eingesetzt und viele Lebensmittel erhalten erst durch die mikrobiellen Stoffwechselprodukte ihre typischen Aromastoffe. Ihre Leistungen sind quasi Bestandteil des Herstellungsverfahrens und ihre biotechnologische Nutzung ein bedeutender Aspekt der Lebensmittelmikrobiologie.

Die Mikroben beeinflussen dabei nicht nur Geschmack, Geruch, Aussehen und Konsistenz dieser Lebensmittel im gewünschten Sinn, sondern ebenfalls ihre Haltbarkeit. Dies geschieht u. a., indem sie für unerwünschte Keimgruppen ungünstige Bedingungen (insbesondere niedrige pH-Werte) schaffen. Bekannte Beispiele dafür sind neben Sauerkraut und Milcherzeugnissen wie Sauerrahm, Jogurt und vielen Käsesorten auch Rohwurst und weitere fermentierte Lebensmittel. Dabei kann die sog. **Fermentationsflora** Teil der natürlichen Mikroflora des Rohstoffes sein, aus dem das Lebensmittel hergestellt werden soll, oder in Form von geeigneten Keimkulturen-Zubereitungen in hoher Dichte (Starterkulturen) zugesetzt werden.

In jüngster Vergangenheit werden lebensfähige Mikroorganismen, sog. **Probiotika** (griechisch „für das Leben“), gezielt Lebensmitteln, insbesondere gesäuerten Milchprodukten, zugesetzt. Probiotische Bakterien in Joghurts und Milchgetränken sollen aber nicht zur mikrobiellen Stabilisierung oder zur Erzielung bestimmter sensorischer Eigenschaften eingesetzt werden, sondern die Darmflora anregen und so nicht nur die Verdauung unterstützen, sondern darüber hinaus positiv die Gesundheit fördern. Die ihnen zugeschriebene gesundheitsförderliche Wirkung umfasst u. a. die Abwehr von pathogenen Keimen, die Abwendung von Darminfektionen und die Stärkung des Immunsystems.

Angestrebt wird hierfür eine möglichst lange Besiedlung des Dickdarms der Konsumenten mit den probiotischen Keimen. Daher müssen diese, um die Passage durch den Magen zu überleben, resistent gegen Säure und Gallenflüssigkeit sein. Außerdem müssen sie unter anaeroben Bedingungen (ohne Sauerstoff) wachsen können und dürfen nicht toxisch sein. All diese Kriterien limitieren die Anzahl der verwendbaren Bakterienstämme und -spezies auf die folgenden Bakteriengruppen: *Lactobacillus*-, *Streptococcus*- und *Bifidobacterium*-Spezies. In Ausnahmefällen können auch andere Spezies verwendet werden (z. B. Hefen und *Bacillus*-Spezies).

Die zuvor genannten drei Gattungen gehören alle zu den Milchsäurebakterien (*Lactobacillaceae*) und sind natürlicher Bestandteil der Darmflora und vieler (säure-)fermentierter Milchprodukte. Nachdem ursprünglich nur entsprechender Jogurt, als „Lifestyle-Produkt“, angeboten wurde, diversifizierte sich das Angebot auf dem Markt zunehmend auf weitere Produkte wie Quark, Käse oder Wurst, die probiotische Bakterien aufweisen.

Mikroben werden nicht nur Lebensmitteln zugesetzt oder besiedeln diese, sie synthetisieren auch Produkte, die von Nutzen für die Lebensmittelindustrie sind. Speziell aus einer Reihe von Bakterien und Schimmelpilzen werden verschiedene Enzyme und eine Reihe von Lebensmittelzusatzstoffen gewonnen. So werden einige Verdickungs- und Geliermittel wie Dextrane und Xanthane von Bakterien gebildet. Mikroben sind auch in der Lage, Aromastoffe wie Käse-, Butter- und Fruchtgeschmackstoffe zu produzieren. Auch weitere organische Stoffe mikrobiellen Ursprungs, z. B. Vitamine und Aminosäuren, werden von der Lebensmittelindustrie und anderen Branchen eingesetzt.

Lebensmittelhygiene

Das Auftreten und die Menge bestimmter Mikroorganismen können auf eine mikrobiologische Kontamination des Lebensmittels hinweisen, zusätzlich ermöglicht die Art der Verunreinigung und deren Intensität eine Beurteilung der möglichen hygienischen Gefährdung. Kommt z. B. der obligate Darmbewohner *Escherichia coli* in einem Lebensmittel vor, so ist das ein Hinweis darauf, dass eine fäkale Verunreinigung bestehen könnte. *E. coli* ist zwar meist harmlos, sein Vorkommen lässt es aber möglich erscheinen, dass auch pathogene Darm-Mikroben, Viren oder Parasiten mit den Kotpartikeln in das Lebensmittel geraten sind. Keime, die solche Risiken oder andere Hygienemängel aufzeigen, werden als **Indikatorkeime** bezeichnet.

Das Konzept der „Indikatorkeime“ stammt bereits aus dem letzten Jahrhundert. Vor allem die über kontami-

niertes Trinkwasser verursachten Seuchen Typhus und Cholera führten zur Überlegung, durch relativ einfache Nachweismethoden die hygienisch-bakteriologische Qualität des Trinkwassers überwachen zu können. *E. coli* schien damals die wichtigsten Voraussetzungen als Indikatorkeim für diesen Bereich zu erfüllen. Da die Nachweismethoden für pathogene Mikroorganismen sehr zeit- und arbeitsaufwändig sind, werden v. a. in der Trinkwasserhygiene die Indikatorbakterien stellvertretend für die Krankheitserreger untersucht. Zudem ist es nicht möglich, alle pathogenen Mikroorganismen routinemäßig zu untersuchen. Die Nachweismethoden für pathogene Mikroorganismen werden primär nur dort angewandt, wo die Ursachen einer Epidemie abzuklären sind oder ein besonderer Verdacht vorliegt.

Die schiere Anzahl der Keime – die sog. Gesamtkeimzahl – ist als alleiniges Qualitätsmerkmal eines Lebensmittels nicht ausreichend. Die generelle Gleichsetzung hoher Keimgehalte mit schlechter, und niedriger Keimgehalte mit guter Beschaffenheit, wäre viel zu einfach. Es ist hingegen unumgänglich, die Zusammensetzung der Mikroflora qualitativ und quantitativ möglichst differenziert zu erfassen (mikrobiologischer Status). Aber selbst differenzierte mikrobiologische Befunde lassen sich nur dann richtig interpretieren, wenn die Zusammensetzung des Lebensmittels, seine technologische Vorgeschichte und die sonstige Behandlung bekannt sind. Die Keimflora des Endproduktes wird nämlich ganz entscheidend von den technologischen Abläufen, der Art der Lagerung und den selektiv wirkenden Charakteristika des Lebensmittels bestimmt, die die Vermehrung von Keimen beeinflussen. Bestimmte Lebensmittelgruppen weisen folglich in der Regel eine für sie in Zusammensetzung und Dichte typische Mikroflora auf. ■

(Literatur beim Autor)

Krank durch Lebensmittelinfektionen? Dieser Frage gehen wir im nächsten Teil der Serie nach.