

Mikroorganismen in unserer Nahrung: gestern, heute und morgen

Peter Niederberger

Nestec SA, Centre de Recherche Nestlé, Vers-chez-les-Blanc

Die Begriffe «Biotechnologie» oder «Industrielle Mikrobiologie» sind heute zu Schlagwörtern geworden, welche bei vielen Menschen Ängste, Vorurteile, ja Ablehnung wecken. Sie umschreiben indessen in ihrer ursprünglichen Anwendung eine der wichtigsten Errungenschaften menschlicher Zivilisation, nämlich die Kunst, Mikroorganismen gezielt und sicher in unserer Nahrung anzuwenden. Das Wesen dieser Kunst liegt darin, Gärprozesse so zu lenken, dass eine Konservierung und Verbesserung von Nahrungsmitteln erzielt wird, bevor sie – meist durch andere Mikroorganismen – verdorben werden.

Das Handwerk der Nahrungsmittelgärungen geht historisch gesehen beinahe so weit zurück, wie es Berichte über die menschliche Kultur gibt: Bereits vor 8000 Jahren wurde bei den Sumerern und Babyloniern die Herstellung von Honigbier beschrieben, und schon 3500 Jahre vor Christus stellten die Assyrer ein weinartiges Getränk her. Eine sehr detaillierte Darstellung der Bier- und Brotherstellung durch einen Fermentationsprozess findet man etwa 1000 Jahre später auf ägyptischen Grabtafeln. Die Griechen und Römer entwickelten während ihrer Kulturperiode von 2000 vor Christus bis 300 nach Christus das Gärhandwerk weiter, wobei sie sich besonders der Rebkultur und Kunst der Weinbereitung widmeten. Die Bereitung von Brot, Bier, Wein und vieler alkoholischer Destillate entwickelte sich im Mittelalter zu einem wichtigen Gewerbe. Es gab indessen noch weitere Gärprozesse, welche eine ähnliche Entwicklung erlebten: die Essigsäuregärung und alle Gärprozesse, welche die Umwandlung von Milch in Yoghurt, Butter und Käse usw. betreffen. Auch die asiatischen und afrikanischen Kulturen haben eine Anzahl zum Teil hochentwickelter Fermentationsprozesse entwickelt.

Dieser Artikel befasst sich zunächst mit den Grundprinzipien der traditionellen Nahrungsmittel-Gärungen und wendet sich dann den neueren Entwicklungen der beteiligten Mikroorganismen zu. Ein Hauptgewicht wird auf die Entwicklung der Fermentationen mit der Bäckerhefe gelegt, welche den wirtschaftlich wichtigsten Prozess der alkoholischen Gärung verursacht, andererseits aber auch in ihrer wissenschaftlichen Erforschung unter den Nahrungsmittel-Mikroorganismen einzigartig dasteht.

Der Mensch lernt die Prinzipien der Nahrungsmittelgärungen kennen

Für den Menschen lag der wichtigste Effekt der Gärprozesse in einer natürlichen Konservierung der Nahrungsmittel. Der prähistorische «Jäger und Sammler» konnte häufig die erbeutete Nahrung pflanzlicher und tierischer Herkunft nicht sofort verzehren und war daher auf eine Lagerung – möglichst ohne Verderb – angewiesen. Vermutlich ist er aber über den «berauschenden Nebeneffekt» der alkoholischen Getränke auf die Gärungen gestossen.

In Tabelle 1 wird ein Überblick über die wichtigsten fermentierten Nahrungsmittel gegeben. Dabei wird offensichtlich, dass unsere wichtigsten Grundnahrungsmittel einen Fermentationsprozess durchlaufen. Es soll nun näher diskutiert werden, welches die Prinzipien von Nahrungsmittelfermentationen sind und welche Rolle die Mikroorganismen dabei spielen.

Um die Prinzipien der Gärprozesse zu verstehen, müssen wir uns sozusagen in die Mikroorganismen hineinversetzen. Für sie bilden die menschlichen Nahrungsmittel genauso Lebensgrundlage wie für den Menschen. Alle aus der Natur stammenden Lebensmittel sind von einer Vielzahl verschiedener Mikroorganismen bevölkert, welche in geringer Zahl zwar meist harmlos sind [1]. Unter bestimmten Bedingungen können sie sich aber schnell zu grosser Zahl vermehren und machen sich dann durch Geruch, Farbe, Schleimbildung und im schlimmsten Fall durch eine Nahrungsmittelvergiftung bemerkbar. Die verschiedenen Mikrobenarten haben sich auf die Vergärung bestimmter Grundnährstoffe und bestimmte Bedingungen in diesen Lebensmitteln spezialisiert. Diese Bedingungen sind definiert durch die Temperatur, die «Wasseraktivität» (d. h. die Konzentrationen, in welchen Zucker, Salze und andere osmotisch aktive Substanzen im vorhandenen Wasser gelöst sind), den Säuregehalt und den Sauerstoffdruck. Mikroorganismen, welche die vorhandenen Nährstoffe unter den gegebenen Bedingungen schneller vergären können, sind im Vorteil und können sich stärker als die anderen vermehren. Da sie bei ihrem Gärprozess ihrerseits häufig Abbauprodukte – meist Alkohol oder Säuren – bilden, werden andere Mikroorganismen im Wachstum stark gehemmt oder gar abgetötet. Das bedeutet – nun wieder aus dem Blickwinkel des Menschen gesehen – nichts anderes als

Tab. 1. Traditionelle fermentierte Nahrungsmittel.

Grundnahrungsmittel	Fermentiertes Nahrungsmittel	Mikroorganismus	Prinzip/Vorteil
Getreide	Brot	Bäckerhefe, Milchsäurebakterien	Konservierung Aroma, Textur
Getreidesaft	Bier, Branntwein	Brauhefe, Milchsäurebakterien	Konservierung Alkohol
Fruchtsäfte	Wein, Most	Weinhefe, Milchsäurebakterien	Konservierung Alkohol, Säure
	Essig	Essigsäurebakterien	Säure
Milch	Yoghurt, Butter, Käse, Kefir usw.	Milchsäurebakterien, Hefen, Schimmelpilze	Konservierung Säure, Alkohol, Verdaulichkeit
Fleisch	Salami	Milchsäurebakterien, Mikrokokken	Konservierung Säure, Aroma
Kohl, Oliven	Sauerkraut	Milchsäurebakterien	Konservierung Säure, Aroma
Kaffee-/Kakao-früchte	Kaffee-/Kakao-bohne	Hefe, Milchsäurebakterien	Geschmack, Aroma
Orientalische Nahrungsmittel	Soyasauce, fermentierte Gemüse, Fisch	Schimmelpilze, Hefen, diverse Bakterien	Konservierung Alkohol, Säure, Verdaulichkeit Vitamine

die Konservierung des betreffenden Nahrungsmittels. Die Leistung des Menschen bestand nun darin, durch Beobachtung und zunehmende Erfahrung – etwa durch Erhitzen oder Kühlen, durch Zugabe von Zucker, Salz oder Säure, durch Trocknen, Luftabschluss oder Belüften – den betreffenden Gärprozess so zu lenken, dass ein immer besseres Nahrungsmittel entstand. Eine gängige Methode bestand darin, das fertig gegorene Nahrungsmittel als «Starter» zum neuen Ansatz zuzufügen. Der Mensch tat dies, wohlbemerkt, stets in Unwissenheit der zugrunde liegenden Ursache, nämlich der betreffenden Mikroorganismen. Ein sehr eindrückliches Beispiel der menschlichen Gärkunst ist die Herstellung der Sojasauce, welche auf die alten Chinesen zurückgeht. Diese recht unscheinbare braune Würzflüssigkeit, für welche als Ausgangsmaterialien Soyabohnen und Weizenmehl verwendet werden, braucht einen über ein Jahr dauernden Gärprozess, in welchem durch gezielte Änderung der Bedingung in zeitlicher Abfolge drei Mikroorganismen (der Schimmelpilz *Aspergillus orizae*, das Bakterium *Pediococcus halophilus* und die Hefe *Saccharomyces rouxii*) zur Entwicklung gebracht werden.

Die Entdeckung der Mikroorganismen als Verursacher der Gärungen

In der Tat vergingen Tausende von Jahren erfolgrei-

cher Anwendung der Nahrungsmittelgärungen, bis die Mikroorganismen vom holländischen Stoffhändler Antonius van Leeuwenhoek um 1680 mit einem selbst hergestellten Mikroskop entdeckt wurden. Es verstrichen dann nochmals weitere 150 Jahre, bis die Mikroorganismen ernsthaft in den Zusammenhang mit Lebensmittelgärungen gebracht wurden. Es entbrannte zunächst ein heftig geführter Streit über die Ursache der alkoholischen Gärung. Er wurde ausgefochten zwischen Anhängern einer chemischen, rein «mechanistischen» Theorie auf der einen Seite und Anhängern einer «vitalen» Theorie, welche die lebende Bäckerhefe als Ursache vermuteten. Es brauchte die Autorität und jahrzehntelange wissenschaftliche Arbeit von Louis Pasteur (1822–1895), um schliesslich den Beweis für die vitale Theorie zu liefern. Er beschrieb zudem in seinem Buch «Etudes sur la bière» um 1876, dass Bierhefen, welche in französischen Brauereien verwendet wurden, häufig mit Essigsäure- und Milchsäurebakterien kontaminiert waren, was natürlich Qualitätsprobleme verursachte. Er hatte damit einerseits die Verursacher der zwei anderen wichtigen Nahrungsmittelgärungen identifiziert. Andererseits schlug er auch gleich ein Verfahren vor, um Hefestämme von den bakteriellen Verunreinigungen zu befreien: durch Zugabe von Weinsäure und Alkohol hatte er Bedingungen gefunden, welche vor allem die Bakterien abtötete, nicht aber die Bierhefen. Es bedurfte indessen eines kritischen Lesers Pasteurs Schriften, um eine für die spätere industrielle Entwicklung revolutionäre Technik einzuführen.

Einführung der Reinkulturtechnik

Es war der dänische Forscher Emil Christian Hansen, zwischen 1878 und 1909 Direktor der Carlsberg Laboratorien in Kopenhagen, welcher bemerkte, dass Brauhefen nicht nur mit Bakterien, sondern häufig auch mit «wilden» Hefen verunreinigt waren. Dies war, wie er als Randnotiz in Pasteurs Buch selbst bemerkte, «...ein viel schwieriger zu lösendes Problem, da mehrere und nicht nur eine Hefestämme dieses (Pasteurs) Verfahren überleben können...». Er entwickelte daher ein eigenes Verfahren, welches aus einer Kombination geeigneter Verdünnungsschritte der kontaminierten Brauhefekulturen und dem Kochschen Plattengussverfahren bestand. Durch Einbetten der Zellen in durch Gelatine verfestigtes Nährmedium konnte er einzelne Kolonien isolieren, welche entweder reine Brauhefe oder reine Wildhefe enthielten. Als praktisches Ergebnis seines Verfahrens konnten die Carlsberg Brauereien Ende 1883 als erste Brauerei einen reinen Brauhefestamm der Art «*Saccharomyces carlsbergensis*», genannt «Unterhefe Nr. 1», im industriellen Massstab anwenden. Damit war das Prinzip der Reinkulturtechnik als Grundstein für eine kontrollierte Anwendung von Mikrobenstämmen in industriellen Fermentationen etabliert. Sie mündete in die heute allgemein übliche industrielle Anwendung soge-

nannter «Starterkulturen». Das bedeutet, dass man sich heute bei industriellen Gärungen kaum mehr auf die «natürliche» Mikrobenflora im betreffenden Nahrungsmittel verlässt, sondern den Gärprozess durch Einimpfung reiner Starterkulturen einleitet. Da in Milchfermentationen zur Käse- und Yoghurtherstellung häufig mehr als eine Art von Bakterien zur Gärung notwendig sind, wird durch genau berechnetes Zusammenmischen der entsprechenden reinen Stämme ein gut reproduzierbares Produkt erhalten.

Die Stammentwicklung der Bäckerhefe durch «klassisch» genetische Methoden

Der hohe Standard wissenschaftlicher Forschung an den Carlsberg Laboratorien in Kopenhagen um die Wende zum 20. Jahrhundert wurde in der Folge beibehalten. Es waren vor allem O. Winge und das Forscherehepaar C. und G. Lindegren, welche etwa ab 1930 die Grundlagen für eine Stammentwicklung mit klassisch genetischen Methoden schufen. Als Basis dienten verschiedene – nach Hansens Verfahren isolierte – reine Stämme von Brau-, Wein- und Backhefen, welche jahrtausendlang auf besonders gute Eignung für das Bierbrauen, die Kelterung oder das Brotbacken «natürlich» selektioniert worden waren und sich damit zu Varietäten der gleichen Art entwickelt hatten. Diese Stammentwicklung führte in zwei Hauptrichtungen: einerseits hin zu effizienteren industriellen Stämmen und andererseits zu «akademischen» Varietäten der Bäckerhefe, die sich besonders gut für genetische Grundlagenforschung eigneten.

Ein Bedürfnis für effizientere industrielle Stämme ergab sich insbesondere bei den Backhefen. Durch die zunehmende Industrialisierung der Brotbereitung wurden immer grössere Mengen Backhefe benötigt. Dies verlangte eine möglichst wirtschaftliche Herstellung, wobei sich ein optimaler Züchtungsprozess, das sogenannte «Zulaufverfahren», durchsetzte. Zudem wurden durch das Verfahren von «Mutation, Selektion und Rekombination» im Verlaufe der Zeit Stämme entwickelt, welche sich durch besonders gute Ausbeute in der Zellzüchtung und durch gute Eigenschaften im Heben des Teiges auszeichneten.

Die «akademischen» Varietäten der Bäckerhefe wurden von den oben genannten Forschern durch jahrelange genetische Kreuzungsverfahren selektioniert. Diese Stämme zeichnen sich aus durch stabile haploide und diploide Kernphasen, eine hohe Fertilität und eine hohe Überlebensrate der meiotischen Abkömmlinge, alles Eigenschaften, die industriellen Stämmen weitgehend abgehen. Solche Stämme wurden später von mehreren amerikanischen Forschern, wie H. Roman, D. Hawthorne und R. Mortimer, für die Entwicklung der «Tetraden-Analyse» bei Hefe verwendet. Dies ermöglichte die Erstellung einer sehr detaillierten Genkarte, das heisst die genaue Lokalisierung Hunderte von Genen auf 17 Chromosomen. Mit diesen Arbeiten konnten sie und eine grosse Zahl weiterer

Forscher zeigen, dass die Bäckerhefe eine genetische Organisation und einen sexuellen Lebenszyklus aufweist, welche mit höheren eukaryontischen Zellen von Pflanzen, Tieren und Mensch vom Prinzip her identisch sind.

Anwendung verschiedener Hefen und fädiger Pilze als Nahrungsmittel oder Nahrungsmittelzusatz

Neben der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* gibt es verschiedene andere Hefen, welche im Nahrungsmittelsektor eine zunehmende Bedeutung erlangt haben: die «Futterhefe» *Candida utilis* kann auf «Sulfitabwasser» wachsen, das bei der Zelluloseherstellung entsteht, die Hefe *Kluyveromyces fragilis* verwertet Molkereiabfälle, da sie den Milchzucker spalten kann, und *Candida tropicalis* gehört zu den kohlewasserstoffverwertenden Hefen. Vor allem in die letzteren, auf Erdölresten wachsenden Hefen wurden grosse Hoffnungen als Lieferanten des sogenannten «Einzellerproteins» gesetzt. Seit der «Erdölkrise» in den frühen siebziger Jahren sind diese zum Teil übersteigerten Erwartungen allerdings stark gedämpft worden.

Die Hefen können im Prinzip eine hochwertige Proteinnahrung liefern. Im Gegensatz zu vielen Getreideproteinen besitzen sie einen hohen Anteil der essentiellen Aminosäuren Lysin und Threonin; allerdings ist der Gehalt an Methionin eher tief. Die Bäckerhefen enthalten zudem einen hohen Anteil an Vitaminen der B-Gruppe. Als Nachteil besitzen sie, wie andere Mikroorganismen, einen relativ hohen Nukleinsäuregehalt, was indessen nur bei einer extremen Hefedιάt für die menschliche Ernährung Probleme bieten würde.

Eine zunehmende Rolle spielen Hefen und Hefelysate als Zusatz zu kulinarischen Produkten (Suppen, Brotaufstriche, Pâtés, «Crackers» usw.) und in geringerem Masse auch als Gesundheitspräparate. Die Hefen werden entweder direkt auf Rolltrocknern zu einem Pulver verarbeitet, oder sie werden einer mehr oder weniger ausgedehnten Lyse unterzogen. Je nach weiterer Verarbeitung entstehen Hefextrakte und Hefelysate, welche sich durch verschiedene Aromen (fleischig, käsigt) auszeichnen.

Eine ganz andere und technologisch viel einfachere Anwendung von Einzellerproteinen findet man in orientalischen Nahrungsmitteln, vor allem in Südostasien [2]. Als Beispiel seien hier die verschiedenen «Tempeh»-Arten erwähnt. Darin kommt ein fädiger Pilz der Gattung *Rhizopus* zur Verwendung, welcher Soyabohnen-, Erdnuss- oder Kokosnuss-Presskuchen mit seinem Mycel vollständig durchdringt. Der Effekt dieser Technologie ist erstaunlich: Durch den Pilz wird ein stärkereiches Nahrungsmittel mit wertvollem Protein und Vitaminen (vor allem B₁₂) angereichert. Zudem entsteht ein vom Geschmack und von der Textur her fleischartiges Produkt, welches durch die Einwirkung proteolytischer und amylolytischer Enzyme erst noch leichter verdaulich ist.

Anwendung der Gentechnologie in der Nahrungsmittelindustrie

Die Methoden der Gentechnologie wurden in den späten siebziger Jahren mit «akademischen» Stämmen der Bäckerhefe eingeführt. Dies war in starkem Masse dem sehr gut entwickelten klassisch genetischen System zu verdanken. 1978 gelang es A. Hinnen [3] zum erstenmal Bäckerhefe zu «transformieren», das heisst, ein definiertes Gen, welches aus der gleichen Hefe isoliert worden war, wieder in Hefe zurückzupflanzen. Das Spezielle an diesem wegweisenden Experiment lag darin, dass es gelang, das Gen an genau jene Stelle im Erbmateriale zurückzubringen, wo es sich vorher befunden hatte; es zeigte sich später, dass diese exakte Platzierung für jedes beliebige Hefegen erzielt werden kann. Diese und andere Techniken der Genverpflanzung hatten eine stürmische Entwicklung der molekularbiologischen Arbeiten mit der Bäckerhefe zur Folge. In den letzten zehn Jahren wurden Hunderte von Hefegenen isoliert, deren DNA-Sequenz bestimmt und deren Regulation in der Zelle genau untersucht. Damit hat sich die Bäckerhefe auch auf molekularer Ebene zu einem sehr wichtigen Modell für die Funktionsweise höherer eukaryontischer Zellen entwickelt [4].

Industriell wurde die Bäckerhefe bis jetzt gentechnologisch nur im pharmazeutischen Bereich angewandt. Dabei geht es darum, interessante Genprodukte, wie Hormone (z. B. menschliches Insulin, Wachstumshormone), Impfstoffe (z. B. gegen virale Hepatitis) und eine grosse Zahl verschiedener biochemischer «Faktoren» der Humanmedizin (z. B. Interferone, Blutgerinnungsfaktoren, Wundheilmittel usw.) in speziell dafür entwickelten Bäckerhefenzellen und mit Hilfe von sogenannten «Expressionsvektoren» in grösseren Mengen zu produzieren und rein darzustellen.

Auch im Nahrungsmittelsektor kann man sich die Anwendung der Gentechnologie bei Back- und Brauhefen vorstellen. In der Tat gibt es Anwendungen, die zum Teil geplant oder schon zur Patentreife entwickelt worden sind, aber bis jetzt findet noch keine kommerzielle Produktion statt. Im Nahrungsmittelbereich geht es meist nicht darum, fremde (heterologe) Gene zu exprimieren und die entstehenden Proteine zu reinigen, sondern eher um die Amplifizierung eigener (homologer) Gene, welche zu einer Überproduktion eines Metaboliten, zum Beispiel einer essentiellen Aminosäure, führen [5] oder um die Einpflanzung von Genen anderer Hefen oder fädiger Pilze, welche die Verwertung von Nährstoffen und Molekülen ermöglichen, wozu die Bäckerhefe vorher nicht befähigt war. Einer der wenigen bis jetzt bekannten Fälle eines auf gentechnischem Weg hergestellten reinen Proteins ist das Labferment «Rennin», welches zur Milchgerinnung bei der Käseherstellung benötigt wird. Dieses Protein steht offenbar vor dem Produktionsbeginn. In den anderen Fällen geht es beispielsweise um die Fähigkeit, Stärke und Bruchstücke davon vollständig abzubauen. So dient die Einpflanzung von Genen für

Alphaamylasen, Glucoamylasen und Pullulanasen in Brauhefe-Stämmen dem vollständigen Abbau auch der verzweigt-kettigen Dextrine, was den Kaloriengehalt des Bieres erniedrigen soll. Das Einpflanzen der gleichen Gene in Backhefestämme könnte eine luftigere Teigtexur und längere Haltbarkeit des Brotes erzeugen. Die Gene, welche für diese Enzyme kodieren, können aus nahe verwandten Hefen (z. B. *Saccharomyces diastaticus*, *Schwanniomyces* Arten) oder aus fädigen Pilzen (z. B. *Aspergillus niger*) isoliert werden. Diese Anwendung gentechnologisch modifizierter Backhefestämme würde in der Zukunft eine heute schon praktizierte Zugabe der gereinigten Enzyme aus den gleichen Organismen ersetzen.

Ob sich solche Anwendungen in Zukunft durchsetzen können, hängt nebst rein kommerziellen Überlegungen in erster Linie von zwei Faktoren ab: zum einen müssen die angewandten gentechnologischen Methoden den hohen Sicherheitsanforderungen für Nahrungsmittel voll gerecht werden. Diese Forderungen können mit grosser Wahrscheinlichkeit erfüllt werden. Zum anderen geht es letztlich darum, ob der Konsument solche Produkte akzeptiert. Dies erfordert in der Zukunft eine verstärkte und objektive Aufklärungsarbeit.

Zusammenfassung

Die Entwicklung fermentierter Nahrungsmittel zählt zu einer der grossen Errungenschaften menschlicher Zivilisation und reicht Tausende von Jahren zurück. Sie ergab sich aus der Notwendigkeit, Nahrungsmittel zu konservieren, sie besser verdaulich und nicht zuletzt auch genussreicher zu machen. Im Verlaufe der Jahrhunderte lernte der Mensch die Fermentationsprozesse durch Variation von chemischen und physikalischen Parametern immer besser zu beherrschen. Es dauerte indessen bis ins 19. Jahrhundert, bis beispielsweise die Bäckerhefe zweifelsfrei als die Ursache der alkoholischen Gärung nachgewiesen wurde.

Durch die Entwicklung der mikrobiellen Reinkulturtechnik, wiederum zunächst bei Hefe, wurde die Voraussetzung für eine gezielte Anwendung von Mikrobenstämmen in Nahrungsmittelfermentationen geschaffen. Der Übergang vom Gärhandwerk im kleinen Massstab zur Herstellung wichtiger Nahrungs- und Genussmittel in industriellen Verfahren machte eine systematische Stammentwicklung notwendig. Dabei kamen die «klassischen» Methoden «Mutation, Selektion und Rekombination» zur Anwendung. Die modernen Methoden der Gentechnologie sind bisher bei Lebensmittel-Mikroorganismen kaum zur Anwendung gelangt. Diese Techniken ermöglichen es, in Mikroorganismen Gene sehr gezielt zu verändern oder auszuschalten, ja sogar neue Gene und damit neue Fähigkeiten einzupflanzen. Mögliche Anwendungen dieser Techniken im Nahrungsmittelsektor werden am Beispiel der Bäckerhefe dargelegt.

Résumé

Les microorganismes dans nos aliments: hier, aujourd'hui, demain
La nécessité de conserver les aliments, de les rendre plus digestibles et plus appétissants a incité l'homme à développer ce que l'on peut considérer comme une des acquisitions les plus fondamentales de la civilisation humaine et qui remonte à des milliers d'années: la fermentation des aliments. En effet, pendant des siècles, l'homme a appris par tâtonnement à élaborer des procédés de fermentation en faisant varier les paramètres physiques et chimiques des ingrédients nutritifs. Il lui a fallu beaucoup plus de temps encore pour découvrir la cause de la fermentation, car ce n'est que vers la fin du 19^e siècle que le rôle de la levure boulangère dans la fermentation alcoolique a été démontré.

La levure, encore elle, a permis le développement de la technique dite de «culture microbienne pure» qui est à la base de l'utilisation contrôlée des microorganismes dans l'alimentation. Le passage du stade artisanal au stade industriel a nécessité le développement systématique des souches utilisées par les techniques «classiques» de «mutation, sélection et recombinaison». Jusque là les techniques modernes du génie génétique n'avaient que peu été utilisées dans le domaine des microorganismes alimentaires. Ces méthodes développées avec des souches de laboratoire permettraient la modification, l'inactivation de gènes spécifiques et même l'introduction de nouveaux gènes dans ces microorganismes. Quelques applications possibles avec la levure boulangère seront discutées dans cet article.

Summary

Microorganisms in our Food: Yesterday, Today and Tomorrow

The development of fermented foodstuffs can be considered as one of the greatest achievements of human civilization and goes back thousands of years. It arose from the necessity to conserve foods, to make them more digestible and also more enjoyable. During the centuries man learned by trial and error to conduct the fermentation processes by changing physical and chemical parameters in the basic food ingredients. It took much longer, however, to discover the cause of fermentation processes: only towards the end of the 19th century it was demonstrated, for example, that baker's yeast is the cause of alcoholic fermentation.

Through the development of the technique of "pure microbial culture", developed again with yeast, the basis for a controlled use of microbes in food industry was established. The movement from artisanal to industrial scale fermentations made necessary a systematic strain development by the "classical" techniques of "mutation, selection and recombination". The modern techniques of genetic

engineering have hardly been applied to food microorganisms so far. These methods, which usually have been developed with laboratory strains, would give us the possibility to change or disrupt genes very specifically and even to introduce new genes into established food microorganisms. Some possible applications with the baker's yeast are discussed in this article.

Literaturverzeichnis

- [1] Postgate J. Mikroben, unsere Freunde – unsere Feinde, Frankfurt am Main: Umschau Verlag, 1970.
- [2] Steinkraus KH. The Handbook of Indigenous Fermented Foods, New York: Marcel Dekker, 1983.
- [3] Hinnen A, Hicks JB, Fink GR. Transformation of Yeast. Proc Natl Acad Sci USA 1978; 75: 1929–1933.
- [4] Strathern JN, Jones WJ, Broach JR. The Molecular Biology of the Yeast *Saccharomyces*. Vol. 1: Life Cycle and Inheritance; Vol. 2: Metabolism and Gene Expression. Cold Spring Harbor, N.Y.: Cold Spring Harbor Laboratory, 1981.
- [5] Niederberger P. Die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae*, Wegweisendes Modell eines eukaryontischen Organismus: Swiss Biotech 1986; 4: 26–27.

Korrespondenzadresse:

Dr. Peter Niederberger
Nestec SA
Centre de Recherche Nestlé
Case postale 353
CH-1800 Vevey