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

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 90 (1999)

Heft: 1

Artikel: Aspekte des chemischen Verderbs von Lebensmitteln

Autor: Amadò, Renato

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-981769

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: 13.07.2025

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

Aspekte des chemischen Verderbs von Lebensmitteln*

Renato Amadò, Institut für Lebensmittelwissenschaft,
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Einleitung

Der Verderb von Lebensmitteln ist im Römpp'schen Lexikon der Lebensmittelchemie (1) definiert als *sensorische* Veränderung, welche durch mikrobielle Aktivitäten, produkteigene oder bakterielle Enzyme, Sauerstoff, UV-Strahlen usw. hervorgerufen wird. In einem Nachsatz ist zudem festgehalten, dass der Verderb von Lebensmitteln durch Entstehung toxischer Substanzen auch zu Lebensmittelvergiftungen führen kann. *Sinell* (2) unterteilt die Ursachen für den Verderb von Lebensmitteln in a) chemisch-physikalisch-biochemische (autolytische Reaktionen, atmosphärische Einflüsse, technologische Faktoren, Verunreinigungen), b) mikrobiologische (Enzymwirkung von Mikroorganismen) und c) biologische (physiologische Abweichungen, Parasitenbefall, Schädlingsbefall) Prozesse. Verderbsreaktionen führen zu negativen Veränderungen in Aussehen, Konsistenz, Struktur und Textur sowie Geruch und Geschmack von Lebensmitteln. Sie bewirken im allgemeinen auch Nährwertverluste.

Generell wird von Verderb gesprochen, wenn der Gebrauchswert eines Lebensmittels durch chemische/mikrobielle Reaktionen oder sonstige Veränderungen herabgesetzt ist.

In erster Linie sind drei Reaktionstypen für chemische Veränderungen in Lebensmitteln verantwortlich:

- Hydrolysen
- Oxidationen (mit Sauerstoff)
- Nicht-enzymatische Bräunung (Maillard-Reaktion)

Hydrolytische und oxidative Reaktionen können sowohl enzymatisch katalysiert als auch auf nicht-enzymatischem Wege ablaufen. Bei der nicht-enzymatischen Bräunungsreaktion (Maillard-Reaktion) sind verschiedenste Reaktionstypen (Kondensation, Isomerisierung, Dehydratisierung, Cyclisierung, Fragmentierung, Poly-

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

merisation) involviert. Im Folgenden werden diese Verderbsreaktionen anhand von Beispielen aufgezeigt.

Hydrolytische Veränderungen

Unter Hydrolyse wird die Spaltung einer Verbindung durch Reaktion mit Wasser verstanden. Von besonderem Interesse in Lebensmitteln sind hydrolytische Reaktionen, bei denen glycosidische Bindungen in Poly- und Oligosacchariden, Peptidbindungen in Proteinen und Peptiden sowie Esterbindungen in Glyceriden und anderen organischen und anorganischen Estern gespalten werden. Die hydrolytischen Vorgänge werden sowohl durch Säure und/oder Base als auch durch Enzyme (Glycanasen und Glycosidasen, Proteasen und Peptidasen, Lipasen u. a. m.) katalysiert.

Die Spaltung von Kohlenhydraten kann zur Bildung von reduzierenden Zuckern und damit zu einem der Reaktionspartner der nicht-enzymatischen Bräunung (siehe unten) führen. Der Abbau von Polysacchariden kann aber auch z. B. die Textur und die Konsistenz von Lebensmitteln negativ beeinflussen.

Auch ein Proteinabbau kann die Qualität eines Lebensmittels vermindern. So muss beispielsweise bei der Teigbereitung die Wirkung von Proteasen verhindert werden, weil durch einen partiellen Abbau der Kleberproteine die Struktur des Teiges beeinträchtigt wird.

Die Hydrolyse der Fette (Lipolyse) ist eine «klassische» Verderbsreaktion. Dabei werden Triglyceride basenkatalysiert in Glycerin und die Salze der Fettsäuren (Seifen) gespalten. Auf enzymatischem Wege erfolgt die Hydrolyse der Triglyceride durch die katalytische Wirkung von Lipasen. Abbildung 1 zeigt schematisch diesen Vorgang. Die Freisetzung von Seifen bzw. von freien Fettsäuren hat negative geschmackliche und geruchliche Veränderungen von Lebensmitteln zur Folge, was als hydrolytische Ranzigkeit bezeichnet wird. Freie Fettsäuren, insbesondere die kurz- und mittelkettigen ($< C_{14}$), sind für ranzige Aromafehler verantwortlich. Besonders unangenehm sind die geruchlichen und geschmacklichen Noten der kurzkettigen

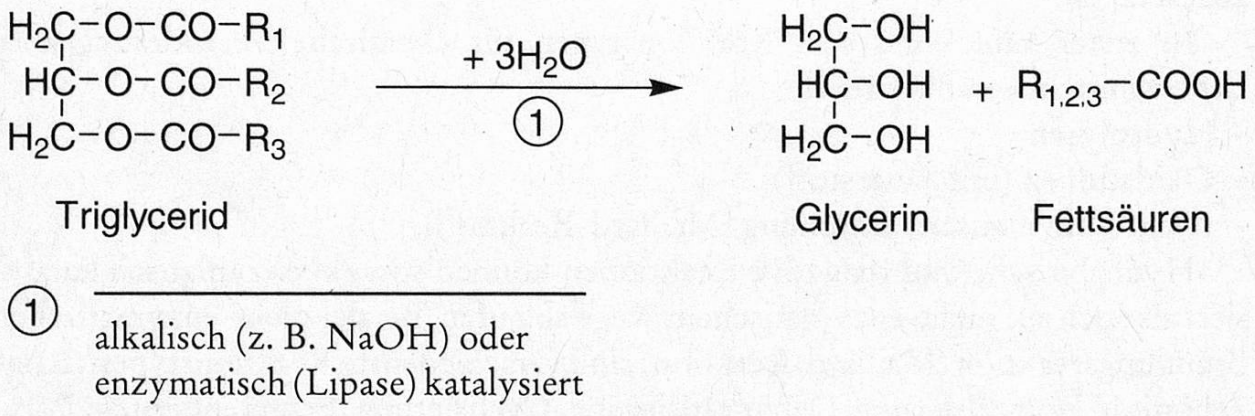

Abbildung 1 **Schema der Lipolyse von Triglyceriden**

Tabelle 1
Geschmackliche Eigenschaften von Fettsäuren

Fettsäure	*Geruch/Geschmack*
4:0	ranzig
6:0	ranzig, nach Ziege
8:0	muffig, ranzig, seifig
10:0	seifig
12:0	seifig
14:0	seifig
18:1 cis	bitter, brennend, stechend
18:1 trans	schwach brennend
18:2 cis, cis	bitter, brennend, stechend
18:3 cis, cis, cis (-)	bitter, brennend, stechend
18:3 cis, cis, cis (-)	bitter, brennend, stechend, nach frischer Walnuss

Fettsäuren. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, tragen aber auch langkettige und ungesättigte Fettsäuren zum negativen Geschmack bei.

Hydrolytische Vorgänge sind auch für die Entwicklung von Fehlaromen in Fruchtsäften mitverantwortlich. Die Hydrolyse von Ester- oder glycosidischen Bindungen von Fruchtölverbindungen kann zur Bildung von Off-flavour (Fehlgeschmack) führen. Dieses Phänomen ist vor allem in Citrussäften bekannt (3).

Oxidative Veränderungen

Oxidationsreaktionen sind eine sehr häufige Ursache für den chemischen Verderb von Lebensmitteln. Sie führen durch vielfältige sensorische Veränderungen und Nährwertverluste zu massiven Qualitätseinbussen. Besonders anfällig für oxidative Reaktionen sind ungesättigte Fettsäuren (frei und in Triglyceriden) und phenolische Verbindungen.

Die für die sensorischen Eigenschaften eines fetthaltigen Lebensmittels wichtigste Reaktion ist die *Lipidautoxidation* (siehe z. B. (4) und (5)). Diese chemisch komplex ablaufende Reaktion mit Sauerstoff führt zur oxidativen Ranzigkeit eines Produktes und damit zur Entwicklung von Off-flavour. Die Fettoxidation verläuft über einen Radikalkettenmechanismus. Dabei werden zunächst in einer Startreaktion z. B. mit Hilfe von aktivierten Sensibilisatoren (z. B. Chlorophyll) aus ungesättigten Fettsäuren (RH) reaktive Fettsäureradikale ($R^{\cdot}$) gebildet, aus denen über Kettenreaktionen (Kettenwachstum, -verzweigungen) immer neue Radikale (Hydroperoxy- ($ROO^{\cdot}$), Alkoxy- ($RO^{\cdot}$) und Fettsäureradikale ($R^{\cdot}$)) entstehen. Beim Kettenabbruch reagieren zwei Radikale zu einem stabilen Endprodukt. Die Elementarschritte der Autoxidation lassen sich vereinfacht schematisch wie folgt darstellen:

Start

Sensibilisator + Licht → aktivierter Sensibilisator*

Sensibilisator* + RH → $R^{\bullet} + H^{\bullet}$

Kettenwachstum

$R^{\bullet} + O_2$ → $ROO^{\bullet}$

$ROO^{\bullet} + RH$ → $ROOH + R^{\bullet}$

Kettenverzweigung

ROOH → $RO^{\bullet} + {}^{\bullet}OH$

$RO^{\bullet} + ROOH$ → $ROO^{\bullet} + ROH$

$RO^{\bullet} + RH$ → $ROH + R^{\bullet}$

${}^{\bullet}OH + RH$ → $H_2O + R^{\bullet}$

Kettenabbruch

$R^{\bullet} + R^{\bullet}$ →

$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet}$ → stabile Produkte

$R^{\bullet} + ROO^{\bullet}$ →

Die Fettsäurehydroperoxide (ROOH) zerfallen unter Einwirkung von Katalysatoren (Schwermetallionen, Licht, Wärme), wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt, in eine grosse Anzahl von Folgeprodukten.

Die Geschwindigkeit der Autoxidation wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Neben dem Sauerstoffpartialdruck spielt in erster Linie die Fettsäurenzusammensetzung eine Rolle, wobei als allgemeine Regel gilt: je ungesättigter die Fettsäure, desto schneller die Oxidationsreaktion. So werden Linolensäure (C18:3), Linolsäure (C18:2) und Ölsäure (C18:1) in einem Geschwindigkeitsverhältnis von 20:10:1 oxidiert. Freie Fettsäuren oxidieren im Vergleich zu Triglyceriden nur unwesentlich schneller. Die Anwesenheit von geringen Mengen freier Fettsäuren in einem Fett oder Öl beeinflusst die Oxidationsstabilität kaum. Sind hingegen grössere Mengen freier Fettsäuren in einem Öl vorhanden, können katalytisch wirkende Spurenelemente aus Metallbehältern (z. B. Lagertanks) freigesetzt werden, was die Geschwindigkeit der Fettoxidation erheblich erhöht. Eine Erhöhung der Temperatur führt im allgemeinen zu einer Erhöhung der Oxidationsgeschwindigkeit. Dasselbe gilt für eine Vergrösserung der Oberfläche des dem Luftsauerstoff ausgesetzten Fettes. Die Wasseraktivität eines Lebensmittels spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle. In trockenen Lebensmitteln (a_w-Werte < ca. 0,1) ist die Geschwindigkeit der Fettoxidation sehr hoch. Erhöhung der Wasseraktivität führt zu einer Reduktion der Geschwindigkeit, welche bei einem a_w-Wert von ca. 0,3 ein Minimum durchläuft. Eine weitere Erhöhung der Wasseraktivität (a_w-Wert bis ca. 0,85) führt wiederum zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit der Oxidation. Die Anwesenheit von Prooxidantien in einem Lebensmittel hat ebenfalls einen beschleunigenden Ef-

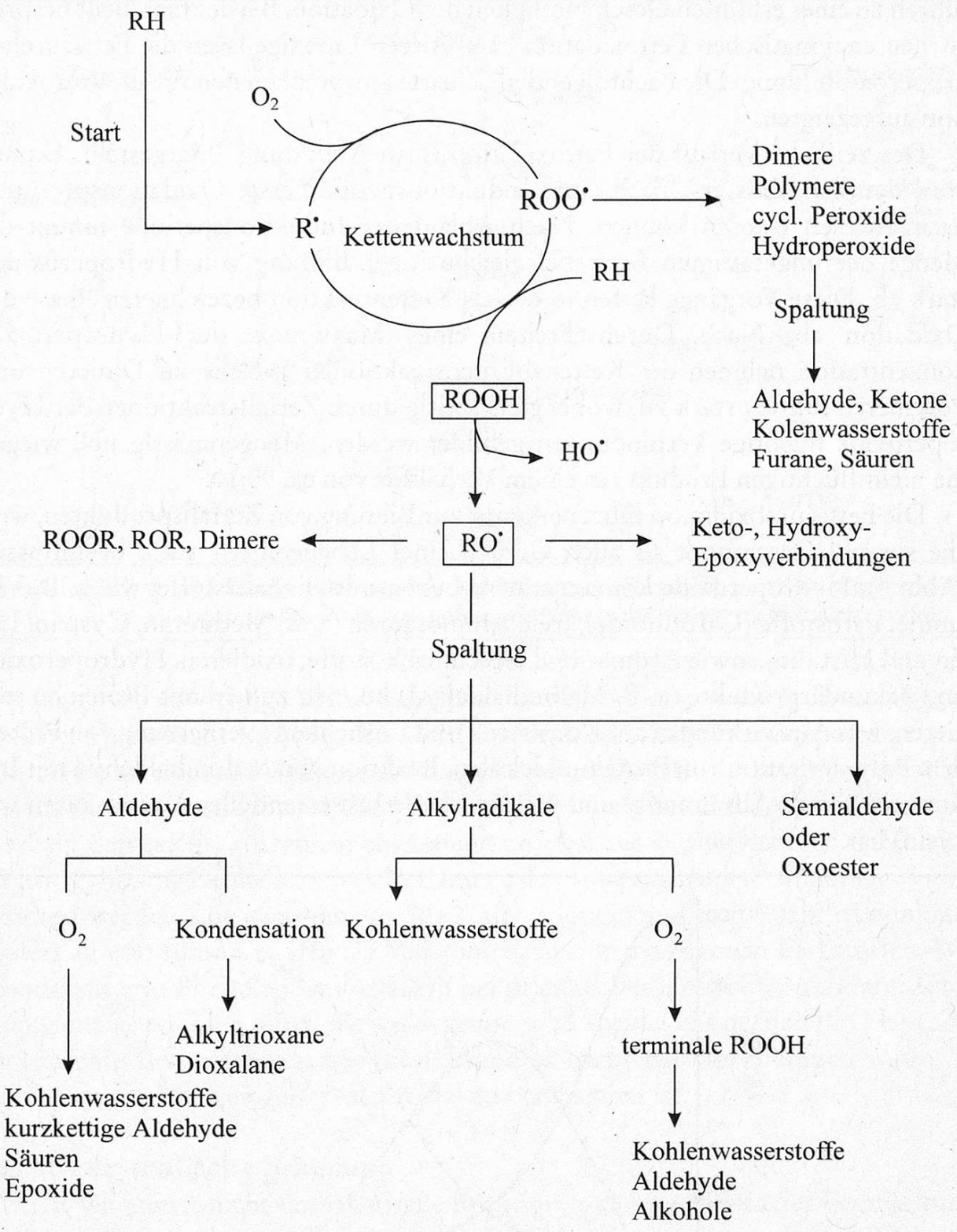

Abbildung 2 **Schematische Darstellung der Lipidautoxidation nach Nawar (6)**

fekt auf die Fettoxidation. Übergangsmetalle, wie Kobalt, Kupfer, Eisen oder Nickel, sind die hauptsächlichsten Prooxidantien in Lebensmitteln. Selbst in sehr tiefen Konzentrationen (< 0,1 mg/kg) verkürzen sie die Induktionsperiode (siehe unten) drastisch und erhöhen gleichzeitig die Geschwindigkeit der Oxidationsreaktionen. Spuren von Schwermetallionen agieren ebenfalls als Katalysatoren und

führen zu einer erhöhten Geschwindigkeit der Oxidation. Bei der hier nicht besprochenen enzymatischen Fettoxidation katalysieren Lipoxigenasen die Fettsäurehydroperoxidbildung. Die nachfolgenden Schritte entsprechen den für die Autoxidation aufgezeigten.

Der zeitliche Verlauf der Fettoxidation ist in Abbildung 3 dargestellt. Daraus wird deutlich, dass erst nach einer Induktionsperiode erste Oxidationsprodukte nachgewiesen werden können. Nach Ablauf der Induktionsperiode nimmt die Menge der ungesättigten Fette bei gleichzeitiger Bildung von Hydroperoxiden stark ab. Diese Vorgänge laufen in der als Kettenreaktion bezeichneten Phase der Oxidation ab. Nach Durchschreiten eines Maximums der Hydroperoxidkonzentration nehmen die Kettenabbruchsreaktionen, welche zu Dimeren und Polymeren führen, stark zu, wobei gleichzeitig durch Zerfallsreaktionen der Hydroperoxide flüchtige Verbindungen gebildet werden. Mengenmässig überwiegen die nicht flüchtigen Produkte in einem Verhältnis von ca. 90:10.

Die Fettsäureoxidation führt nicht nur zur Bildung von Zerfallsprodukten, welche sowohl Geschmack als auch Geruch eines Lebensmittels stark beeinflussen (Abb. 4). Hydroperoxide können andere Lebensmittelinhaltsstoffe, wie z. B. Vitamine, Farbstoffe (Carotinoide), freie Aminosäuren (z. B. Methionin, Cystein, Lysin und Histidin) sowie Aroma- und Geschmacksstoffe, oxidieren. Hydroperoxide und Sekundärprodukte (z. B. Malondialdehyd) können zudem mit Proteinen reagieren, was Auswirkungen auf Konsistenz und Löslichkeit (Vernetzung von Proteinen: Polymerisation von Proteinmolekülen, Reaktion von Malondialdehyd mit Lysinresten), Farbe (Bräunung) und Nährwert (Verlust essentieller Aminosäuren wie Lysin) hat.

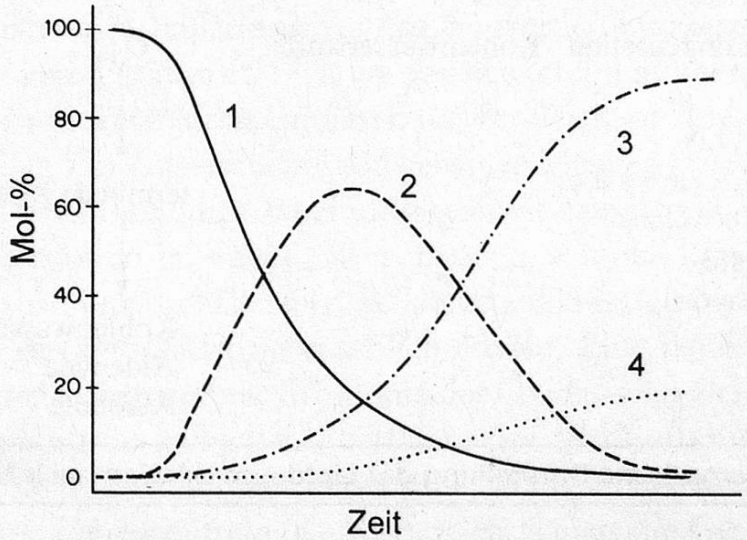

Abbildung 3 **Zeitlicher Verlauf der Lipidautoxidation (modifiziert nach Gardner (7))**
1 = ungesättigte Fettsäuren
2 = Fettsäurehydroperoxide
3 = nicht flüchtige Endprodukte
4 = flüchtige Endprodukte

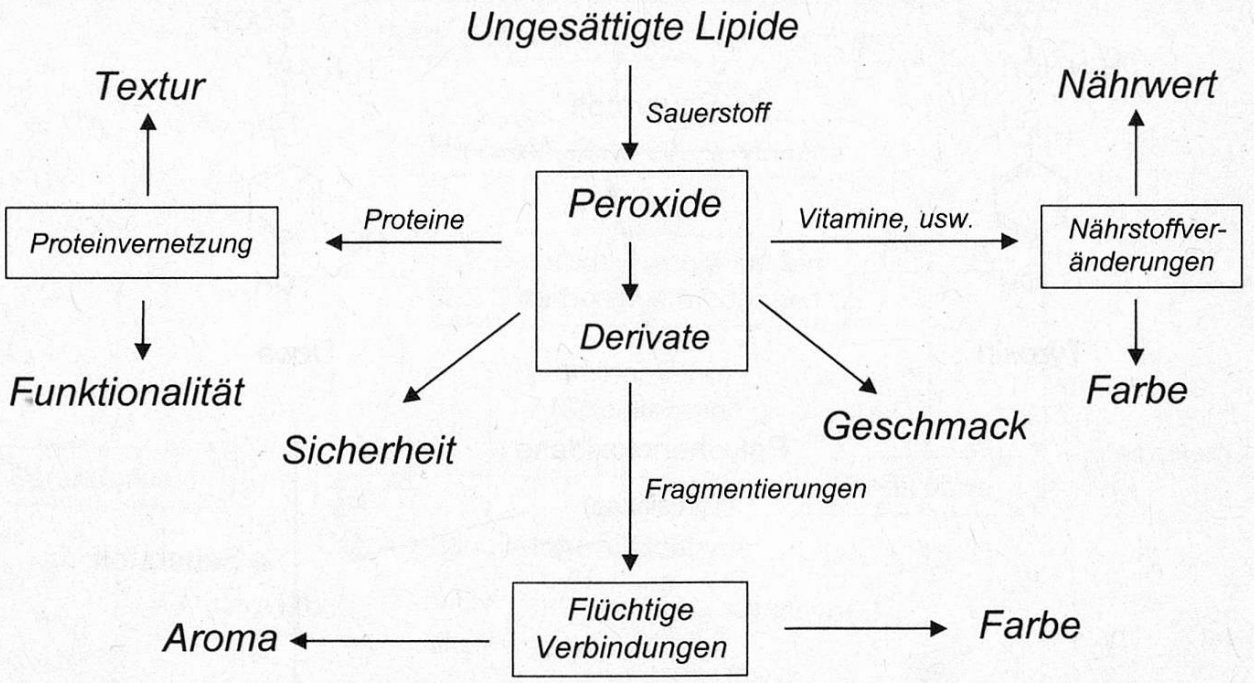

Abbildung 4 **Auswirkungen der Lipidautoxidation auf sensorische und ernährungsphysiologische Qualität von Lebensmitteln (modifiziert nach Eriksson (8))**

Eine weitere wichtige Verderbsreaktion ist die sog. *enzymatische Bräunung*, an welcher phenolische Inhaltsstoffe, wie z. B. die Aminosäure Tyrosin, beteiligt sind. Durch die katalytische Wirkung der Polyphenoloxidasen (PPO) reagieren diese Inhaltsstoffe mit Luftsauerstoff, wie in Abbildung 5 am Beispiel der Oxidation von Tyrosin dargestellt. Allgemein entstehen zunächst aus Monophenolen durch eine Hydroxylierung Diphenole, welche dann zu den entsprechenden Chinonen weiteroxidiert werden. Die nächsten Schritte laufen spontan und nicht mehr enzymkatalysiert ab und führen zu den als Melanine bezeichneten braunen Farbstoffen. Die Oxidation von Phenolen ist vor allem bei pflanzlichen Produkten relevant: Obst und Gemüse erfahren durch die katalytische Wirkung der endogenen PPO eine unerwünschte Braunfärbung, wie dies besonders leicht bei einem aufgeschnittenen und an der Luft liegen gelassenen Apfel zu beobachten ist.

Nicht-enzymatische Bräunung

Die wichtigste nicht-enzymatische Reaktion, welche während der Verarbeitung und/oder Lagerung von Lebensmitteln zur Bildung von braunen Farbstoffen und Aromastoffen führt, ist die *Maillard-Reaktion*. Dabei handelt es sich um eine komplex ablaufende Reaktion zwischen freien Aminogruppen von Aminosäuren oder Proteinen und reduzierenden Zuckern. Die Reaktion ist bei Erhitzungsprozessen begünstigt, läuft aber in einem wasserarmen Medium auch bei normalen Lagerungstemperaturen ab. Die Maillard-Reaktion führt bei Back- und Röstprozessen zu erwünschten Aromastoffen (Back- und Röstaromen) und Farbänderungen (z. B. braune Krustenfarbe beim Brotbacken). Bei Hitzebehandlungen können aber auch

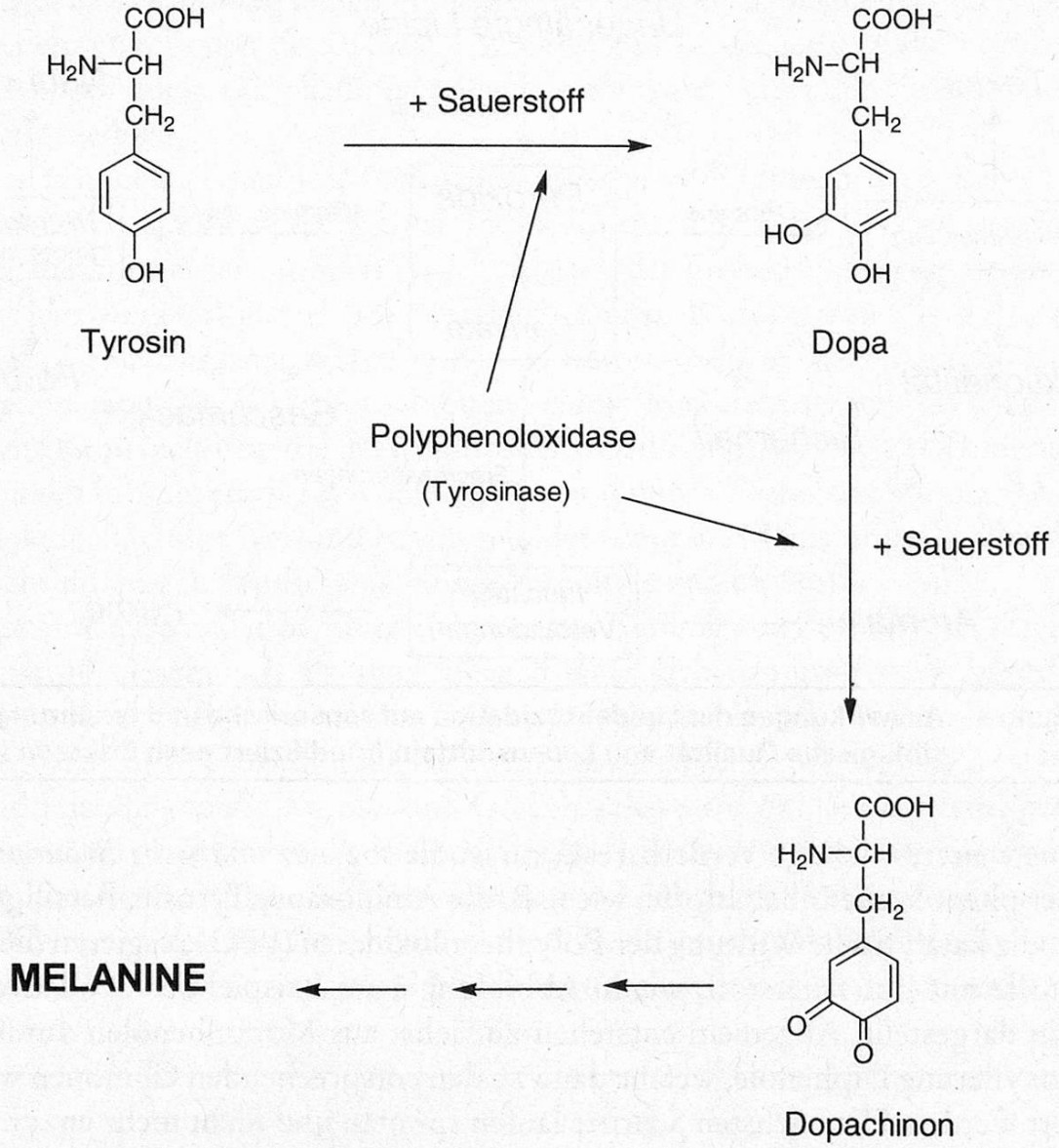

Abbildung 5 **Schema der enzymatischen Bräunung am Beispiel des Tyrosins**

unerwünschte farbliche sowie geruchliche und geschmackliche Veränderungen auftreten. Zudem wird durch den Verlust von Aminosäuren, insbesondere der essentiellen Aminosäure Lysin, auch der ernährungsphysiologische Wert eines Lebensmittels herabgesetzt.

Die Maillard-Reaktion läuft, wie die stark vereinfachte Übersicht in Abbildung 6 zeigt, in mehreren Schritten ab, wobei zwei Phasen unterschieden werden. In der ersten Phase werden aus den reduzierenden Zuckern in mehreren Schritten (Glycosylaminbildung, Amadori- und Heyns-Umlagerungsreaktionen, Überführung der Umlagerungsprodukte in reaktive Dicarbonylverbindungen und vielfältige Reaktionen der Dicarbonylverbindungen) sehr reaktive Zwischenstufen gebildet. Diese können in der zweiten Phase unterschiedlichste Folgereaktionen eingehen. So werden durch Dehydratisierungen und Cylisierung aromarelevante Furanderivate gebildet, welche auch als Indikatorsubstanzen für die Maillard-Reaktion dienen. Die

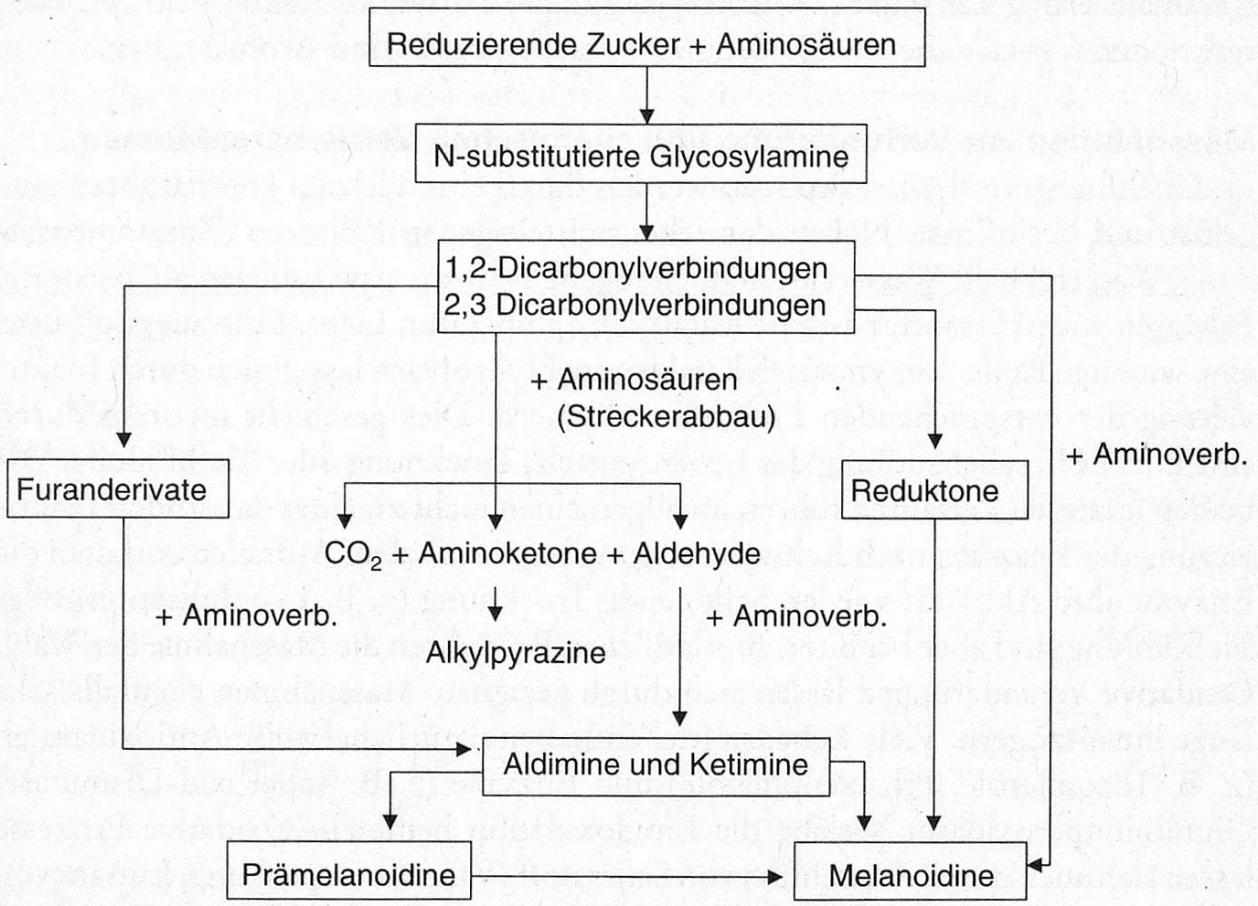

Abbildung 6 **Vereinfachtes Schema der Maillard-Reaktion**

ebenfalls entstehenden Reduktone erhöhen ihrerseits die Haltbarkeit eines Lebensmittels. Eine weitere wichtige Folgereaktion ist die als Strecker-Abbau bezeichnete Reaktion von Dicarbonylverbindungen mit Aminosäuren. Bei dieser Reaktion entstehen aus Dicarbonylverbindungen Aminoketone und aus den Aminosäuren um ein C-Atom kürzere Aldehyde (Strecker-Aldehyde) sowie Kohlendioxid. Die Reaktion ist somit mit einem Verlust von Aminosäuren verbunden. Sowohl die gebildeten Aminoketone als auch die Strecker-Aldehyde können in Folgereaktionen weiter reagieren (z. B. zu Alkylpyrazinen, Thiophenen usw.). Schliesslich führt die Maillard-Reaktion zu rotbraunen und schwarzen Farbstoffen, den sog. Melanoidinen. Diese sind verantwortlich für die Farbe gebackener, gebratener oder gerösteter Lebensmittel. Auf dem Weg zu den polymeren und damit wasserunlöslichen Melanoidinen werden oligomere, wasserlösliche Vorstufen (Prämelanoidine) durchlaufen. Während in der Strukturaufklärung der Prämelanoidine in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt werden konnten, ist über die Struktur der heterogen aufgebauten Melanoidine nahezu nichts bekannt. Die Maillard-Reaktion ist immer noch Gegenstand intensiver Forschung, deren Resultate in vielen Übersichtsartikeln zusammengefasst worden sind (z. B. (9, 10)).

Zu den nicht-enzymatischen Bräunungsreaktionen gehört auch die bei höheren Temperaturen (> 130 °C) ablaufende, durch Säure und gewisse Salze katalysierte

Karamelisierung von Zuckern. Isomerisierungs-, Dehydratisierungs- und Abbaureaktionen führen dabei zur Bildung von braunen Farb- und Aromastoffen.

Massnahmen zur Verhinderung von chemischen Verderbsreaktionen

Chemische Verderbsreaktionen werden durch eine Vielzahl von Faktoren ausgelöst und beeinflusst. Neben den lebensmitteleigenen Faktoren (Zusammensetzung, Wassergehalt, Wasseraktivität, endogene Enzyme usw.) spielen auch externe Faktoren wie pH (saure/basische Katalyse), Temperatur, Licht, Luftsauerstoff usw. eine wichtige Rolle. Enzymatisch katalysierte Hydrolysen lassen sich durch Inaktivierung der entsprechenden Enzyme verhindern. Dies geschieht meistens durch eine kurze Hitzebehandlung des Lebensmittels, Trocknung oder Tiefkühlung. Die beiden letzteren Verfahren führen im allgemeinen nicht zu einer dauernden Inaktivierung der Enzyme; nach Rehydratisierung bzw. nach dem Auftauen entfalten die Enzyme ihre Aktivität wieder. Schonende Trocknung (z. B. Lyophilisation) oder Tiefkühlung sind aber bei hitzeempfindlichen Produkten die Massnahme der Wahl. Oxidative Veränderungen lassen sich durch geeignete Massnahmen ebenfalls sehr lange hinauszögern. Viele Lebensmittel enthalten natürlicherweise Antioxidantien (z. B. Tocopherole, Pflanzenphenole) und Enzyme (z. B. Superoxid-Dismutase, Glutathionperoxidase), welche die Lipidoxidation hemmen. Oxidative Prozesse lassen sich auch durch Ausschluss von Sauerstoff (Vakuumverpackung, Einsatz von Glucoseoxidase), Lagerung bei tiefer Temperatur im Dunkeln und Inaktivierung der Lipoxigenase bzw. der Polyphenoloxidase durch geeignete Massnahmen (z. B. Blanchieren von Gemüse) hemmen. Ein Zusatz von synthetischen Antioxidantien (z. B. Ascorbylpalmitat, Propylgallat) führt ebenfalls zu einer Hemmung der Fettoxidation. Der Einsatz der Glucoseoxidase (GOD), einem Enzym, das in Gegenwart von Sauerstoff D-Glucose in D-Gluconolacton überführt, ist in mehrfacher Hinsicht interessant. Einerseits wird eine entscheidende Begrenzung der Maillard-Reaktion z. B. in Eierprodukten, Trockenfleisch und Kartoffelprodukten erzielt, weil damit der am häufigsten vorkommende und zugleich in der Maillard-Reaktion reaktivste Zucker als Lacton nicht mehr reagieren kann. Durch den Verbrauch des in einem Lebensmittel vorliegenden Sauerstoffs andererseits werden oxidative Prozesse sehr effizient verhindert. So werden sowohl die Fettoxidation (autolytisch und enzymatisch katalysiert) als auch die enzymatische Bräunung durch Polyphenoloxidasen zurückgedrängt. Die GOD wird deshalb zur Verhinderung von Bräunungsreaktionen z. B. in gefrorenen Frischfrüchten wie Kirschen oder Pfirsichen, in Bier, bei der Vergärung von Wein zu Essig, in Citrussäften usw. eingesetzt. Das bei der GOD-Reaktion durch Reduktion des Sauerstoffs entstehende Wasserstoffperoxid kann dank seiner antimikrobiellen Eigenschaften auch zur Verhinderung von mikrobiellen Verderbsreaktionen ausgenutzt werden (Kaltsterilisation). Das Wasserstoffperoxid muss jedoch nach einer gewissen Einwirkungszeit durch Zugabe von Katalase zerstört werden. Schliesslich soll noch der Einfluss der Ascorbinsäure auf die enzymatische Bräunung aufgezeigt werden (Abb. 7).

Während bei den bisher erwähnten Möglichkeiten der Hemmung dieser Reaktion entweder das Enzym inaktiviert oder der Sauerstoffgehalt erniedrigt wurde, wird hier auf der Stufe der ersten Zwischenprodukte in die Reaktion eingegriffen. Ascorbinsäure reduziert Dopachinon zu Dopa und wird dabei selbst zu Dehydroascorbinsäure oxidiert. Eine ausführliche Übersicht zum Thema Bräunung von Lebensmitteln und deren Verhinderung wurde vor kurzem von Friedman (11) publiziert.

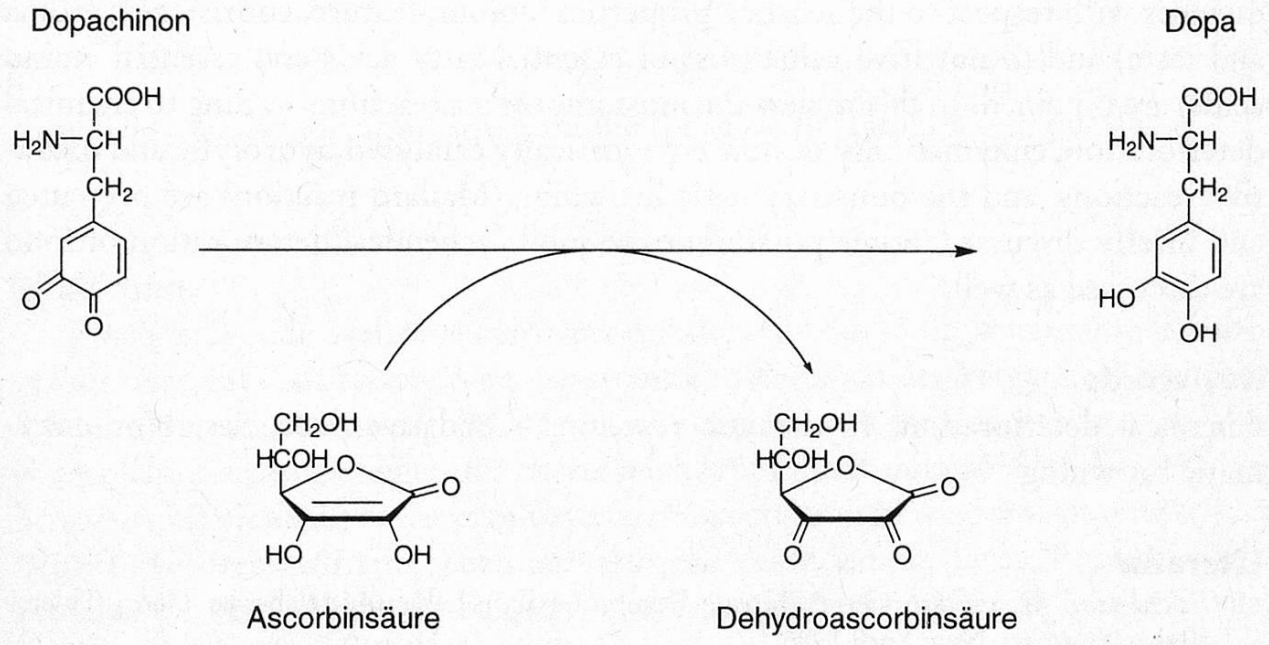

Abbildung 7 **Einfluss von Ascorbinsäure auf die enzymatische Bräunung am Beispiel des Tyrosins**

Zusammenfassung

Der chemische Verderb von Lebensmitteln ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen. Die Folgen sind negative Veränderungen der sensorischen Eigenschaften (Farbe, Textur, Konsistenz, Geruch und Geschmack) sowie Nährwertverluste (essentielle Fettsäuren, essentielle Aminosäuren). In der vorliegenden Übersicht werden die wichtigsten Verderbsreaktionen, nämlich enzymatisch und nicht-enzymatisch katalysierte Hydrolysen und Oxidationen sowie die nicht-enzymatische Bräunung (Maillard-Reaktion), vorgestellt und kurz diskutiert. Auf einige Massnahmen zur Hemmung des chemischen Verderbs wird ebenfalls eingegangen.

Résumé

La détérioration chimique des denrées alimentaires est causée par différents facteurs. Elle a pour conséquences une modification des propriétés sensorielles (couleur, texture, consistence, odeur et goût) et une perte de la valeur nutritive (acides gras essentiels, acides aminés essentiels). Cet article présente les réactions de dété-

rioration chimique les plus importantes, soit les hydrolyses et oxidations catalysées par voie enzymatique ou non-enzymatique et le brunissement non-enzymatique (réaction de Maillard). Plusieurs moyens permettant d'inhiber la détérioration chimique des denrées alimentaires sont présentées.

Summary «Aspects of the Chemical Deterioration of Food»

The chemical deterioration of food is caused by several factors. Negative consequences with respect to the sensory properties (colour, texture, consistency, aroma and taste) and to nutritive value (loss of essential fatty acids and essential amino acids) are obtained. In this review the most important reactions leading to chemical deterioration, enzymatically or non-enzymatically catalysed hydrolytic and oxidative reactions, and the non-enzymatic browning (Mailard reaction) are presented and briefly discussed. Some possibilities to inhibit chemical deterioration of food are discussed as well.

Key words

Chemical deterioration, Hydrolytic reactions, Oxidative processes, Non-enzymatic browning

Literatur

1 *Eisenbrand, G.* und *Schreier, P.* (Hrsg.): Römpp Lexikon Lebensmittelchemie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart-New York 1995.
2 *Sinell, H.-J.:* Einführung in die Lebensmittelhygiene, 2. vollst. überarbeitete Auflage, S. 69. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1985.
3 *Nagy, S.* and *Rouseff, R.L.:* Citrus fruit juices. In: Charalambous, G. (Hrsg.), Handbook of food and beverage stability, 719–743. Academic Press Inc. (London) Ltd. 1986.
4 *Chan, H.W.-S.:* Autoxidation of unsaturated lipids. Academic Press Inc. (London) Ltd. 1987.
5 *Allen, J.C.* and *Hamilton, R.J.:* Rancidity in foods. Blackie Academic and Professional, Glasgow 1994.
6 *Nawar, W.W.:* Lipids. In: Fennema, O.R. (Hrsg.), Food chemistry, 3. Auflage, p. 257. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hongkong 1996.
7 *Gardner, H.W.:* In: Finley, J.W. und Schwass, D.E., Xenobiotics in foods and feeds, 63–84. American Chemical Society, Washington, D.C. 1983.
8 *Eriksson, C.E.:* Lipid oxidation catalysts and inhibitors in raw materials and processed foods. Food Chemistry **9**, 3–19 (1982).
9 *Angrick, M.* und *Rewicki, D.:* Die Maillard-Reaktion. Chemie in unserer Zeit **14**, 149–157 (1980).
10 *Baltes, W.:* Maillardreaktionen in Lebensmitteln. Lebensmittelchemie **47**, 9–14 (1993).
11 *Friedman, M.:* Food browning and its prevention: An overview. J. Agric. Food Chem. **44**, 631–653 (1996).

Prof. Dr. Renato Amadò, Institut für Lebensmittelwissenschaft, Eidg. Technische Hochschule, ETH-Zentrum, Schmelzbergstrasse 9, CH-8092 Zürich