

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

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit

**Band:** 51 (1960)

**Heft:** 3

**Artikel:** Abiotischer Lebensmittelverderb

**Autor:** Streuli, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-982917>

#### 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:** 22.01.2026

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

# Abiotischer Lebensmittelverderb<sup>\*)</sup>

Von H. Streuli, Zürich

## Bedeutung und Merkmale

Die Verluste, die in unserem nördlichen Nachbarland durch Lebensmittelverderb entstehen, schätzt man auf mindestens 500 Millionen Mark pro Jahr. Dies entspricht etwa dem Jahresverbrauch an Nahrungsmitteln in der Stadt Zürich. Für die Schweiz liegen keine Zahlen vor; pro Kopf dürfte der Verderb auch bei uns eine ähnliche Größenordnung erreichen. Die wirtschaftliche Bedeutung einer Bekämpfung des Lebensmittelverderbs liegt auf der Hand.

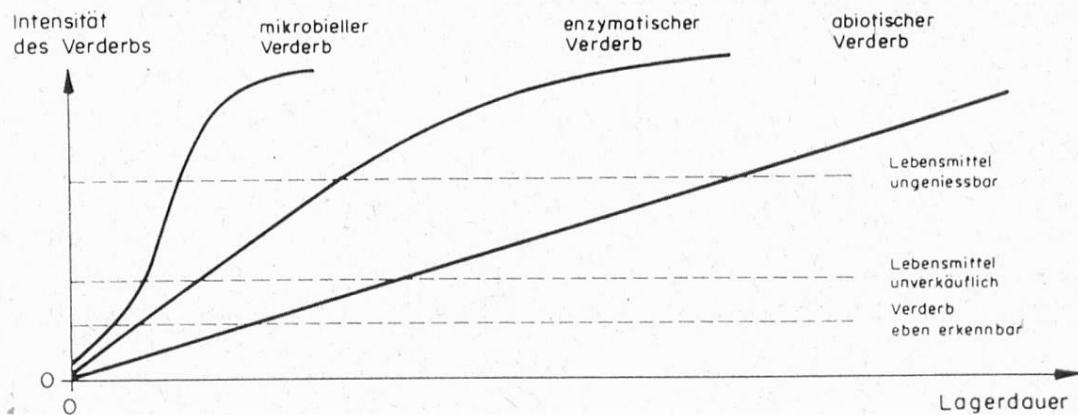
Seit Pasteur hat man schrittweise erkannt, dass beim Lebensmittelverderb nach seinen Ursachen drei grosse Gruppen unterschieden werden können:

1. Der Verderb durch Mikroorganismen (*mikrobieller Verderb*). Von den unzähligen Beispielen hierfür seien das Sauerwerden der Milch, das Faulen von Fleisch, das Gären von Obstsaften und das Schimmeln, das bei genügender Feuchtigkeit überall auftritt, erwähnt.
2. An zweiter Stelle steht der Verderb durch Stoffwechselprozesse im lebenden oder absterbenden Zellgewebe tierischer und pflanzlicher Lebensmittel. Ich erinnere an das Welken von Gemüse, an die Gewichtsverluste beim Getreide durch Atmung, an das Keimen und Schrumpfen der Kartoffeln oder an die Braunfäule von Lagerobst. Da solche Stoffwechselprozesse von Enzymen gesteuert werden, heissen wir diese und ähnliche Arten von Verderb *enzymatischen Verderb* (durch lebensmitteleigene Enzyme).
3. Schliesslich gibt es auch Verderb ohne Beteiligung von Lebenserscheinungen; wir heissen ihn deshalb unbelebten oder *abiotischen Verderb*. Sinngemäss fasst man den mikrobiellen und den enzymatischen Verderb zusammen als *biotischen Verderb*.

In den meisten Lebensmitteln können beide, der biotische und der abiotische Verderb, auftreten. In gewissen Fällen verläuft der abiotische Verderb rasch, z.B. bei Fetten. Ich nenne als hervorstechendes Beispiel das Ranzigwerden von Butter an der Sonne. Ein anderes Beispiel raschen abiotischen Verderbs ist das Altbackenwerden von Brot und Gebäck. Bei den meisten andern Lebensmitteln ist es aber der biotische Verderb, welcher rascher verläuft.

Wir bekommen daher den abiotischen Verderb in der Regel gar nicht zu Gesicht, da zu einem Zeitpunkt, wo er spürbar in Erscheinung trate, das betroffene Lebensmittel schon durch andere Ursachen völlig zerstört ist. Ueberall dort aber, wo wir den biotischen Verderb ausgeschaltet haben, also gerade bei Konserven – den Büchsenkonserven, Gefrierkonserven, Trockenkonserven und allen andern – ist es der abiotische Verderb, welcher die Grenze der Haltbarkeit

<sup>\*)</sup> Antrittsvorlesung an der Universität Zürich vom 5. Dezember 1959; Bildmaterial gekürzt.



Figur 1  
Zeitlicher Verlauf des Lebensmittelverderbs (schematisch)

bestimmt. Darin liegt seine heutige Bedeutung. Wir haben durch Bekämpfung des biotischen Verderbs mit herkömmlichen Konservierungsmethoden die Haltbarkeit zahlloser Lebensmittel entscheidend verbessert. Wir sind damit vorläufig an einer Grenze angelangt, die wir nur dann überschreiten können, wenn wir nach dem mikrobiellen und dem enzymatischen Vererb auch den abiotischen Lebensmittelvererb besiegen.

Die *Verluste* durch abiotischen Vererb sind nicht allzu gross. Vererb äusserst sich aber nicht erst in einem Verlust, indem die betroffenen Lebensmittel ungenießbar werden, sondern schon in einer *Verminderung der Qualität*, indem vom Konsumenten geschätzte sinnenfällige Eigenschaften – Farbe, Geschmack, Konsistenz – beeinträchtigt werden oder indem der Nährwert der Lebensmittel herabgesetzt wird, etwa infolge Zerstörung von Vitaminen. Der Totalverlust eines Lebensmittels ist nur die letzte Phase der zunehmenden Qualitätsverminde rung. Es sei betont, dass im Anfangsstadium des Verderbs ein Lebensmittel noch sehr wohl genießbar, ja sogar scheinbar unbeeinträchtigt sein kann (vgl. Fig. 1).

### Erscheinungsformen

Der Begriff des abiotischen Verderbs umfasst nicht nur jegliche Qualitäts einbusse bei der Lagerung, sondern auch die Qualitätseinbusse bei bestimmten Verarbeitungsprozessen, nämlich beim Erhitzen, Kühlen oder Gefrieren und beim Bestrahlen. Allgemeiner formuliert: er umfasst die abiotischen unerwünschten Veränderungen in einem umgrenzten System, wobei das gedanklich abgegrenzte Lebensmittel mit der Umgebung zwar Energie, aber keine Stoffe austauschen kann. Ein konkretes Beispiel für ein solches System wäre ein Lebensmittel in einer dichten Verpackung.

Wir unterscheiden chemischen und physikalischen abiotischen Vererb. Der *chemische Vererb* ist gekennzeichnet durch eine chemische Veränderung des betroffenen Lebensmittels. Die Symptome eines *physikalischen Verderbs* hingegen äussern sich an den physikalischen Eigenschaften; chemische Veränderun-

*Tabelle 1*  
*Physikalischer abiotischer Verderb von Lebensmitteln*

Erscheinungsbild	Beispiele		Zurückzuführen auf
Veränderung der Struktur	Sandigwerden «Absterben» Kältetrübung «Brechen» «Bluten» Knollenbildung	Kondensmilch Speiseeis Konditoreiwaren Zuckerwaren Bier Mayonnaise Gefrierrahm Gelées Pulverförmige Lebensmittel	Kristallisierungsvorgänge Kristallisierungsvorgänge Kristallisierungsvorgänge Kristallisierungsvorgänge Uebersättigung Phasentrennung Synärese
Veränderung der Festigkeit oder der Konsistenz Abnahme der Löslichkeit oder des Quellvermögens	Altbackenwerden (Nachdicken)	Brot, Gebäck Milchkonserven) Gefrierfleisch Gefriermilch (Milchpulver)	Retrogradation der Stärke Veränderung der Eiweisse Denaturierung der Eiweisse Denaturierung der Eiweisse z.T. Denaturierung der Eiweisse
Veränderung verarbeitungs-technischer Eigenschaften		Gefriereier	

gen sind nicht festzustellen. Beispiele für physikalischen Verderb sind das rein mechanische Zerreissen von Fleisch durch Eiskristalle beim langsamen Gefrieren oder das sogenannte Absterben von Zuckerbonbons, wobei der Zucker aus dem glasigen in den kristallinen Zustand übergeht. Ebenfalls auf Kristallisierungsscheinungen zurückzuführen ist das Sandigwerden von Kondensmilch, Eiscreme und Konditoreiwaren, ähnlich wie auch der Fettreif von Schokolade. Als weitere Beispiele wären anzuführen das Brechen von Emulsionen wie Mayonnaise und viele andere, deren wichtigste wir in einer Tabelle zusammengefasst haben.

Tabelle 1

(Das Nachdicken der Milch u.a. ist wohl chemisch bedingt, nur liessen sich bisher die Veränderungen auf chemischem Wege nicht nachweisen.)

Auf diesen physikalischen Verderb wollen wir nicht weiter eingehen. Seine Bedeutung ist im Vergleich zum chemischen Verderb gering. Es sind kaum lebenswichtige Nahrungsmittel, die davon betroffen werden. Niemals tritt dabei eine Schädigung des Nährwertes ein. Durch geeignete empirische technologische Massnahmen kann der physikalische Verderb oft weitgehend verhindert werden, so dass in vielen Fällen sein Auftreten eher als Fabrikationsfehler denn als unvermeidliches Schicksal gewertet werden darf.

Ganz anders steht es beim chemischen Verderb.

Hier sind es unsere wichtigsten Nahrungsmittel, die betroffen werden; nicht nur der Genusswert, sondern auch der Nährwert wird beeinträchtigt, und der Verderb kann nur sehr selten auf blosse Fabrikationsfehler zurückgeführt werden. Einen Ueberblick über verschiedene Erscheinungsformen gibt uns Tabelle 2, worin wir wiederum nur die wichtigsten Fälle von chemischem abiotischem Lebensmittelverderb zusammengefasst haben. Mit Ausnahme von Wasser und Salz gibt es wohl kaum ein Lebensmittel, welches diesem Verderb nicht unterliegt.

Zwei Erscheinungsbilder sind besonders häufig und besonders wichtig: die *Bräunung* und die *Ranzigkeit*. Ranzigkeit in irgendeiner Form finden wir bei fetthaltigen Nahrungsmitteln, also fast überall. Beispiele sind hinreichend bekannt. Bräunung tritt auf bei langer Lagerung von Milchkonserven, Frucht-, Gemüse- und Fleischkonserven; ebenso kann sie auftreten beim Erhitzen oder Bestrahlen der Lebensmittel. Mit wenigen Ausnahmen ist die Bräunung mit einer Geschmacksveränderung, mit dem Auftreten caramelartiger Geschmacks- und Geruchsstoffe verbunden. Neben abiotischer Ranzigkeit und Bräunung gibt es auch enzymatische Vorgänge dieser Art; davon ist hier nicht die Rede.

Abiotische Bräunung und abiotische Ranzigkeit sind verknüpft mit einem Verlust an essentiellen Aminosäuren und an Vitaminen. Solche Verluste können auch ohne spezifische sinnenfällige Merkmale entstehen. Schädliche Stoffe bilden sich bei Luftausschluss in hoch erhitzten Fischölen und ähnlichen stark

*Tabelle 2*  
*Chemischer abiotischer Verderb von Lebensmitteln*

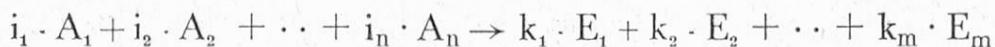
Sinnenfällige Merkmale		Beispiele
Veränderung der Farbe	Verblasen Bräunung	Grüne Gemüse beim Kochen gewisse Früchte beim Kochen Butter am Licht Gemüse, Früchte, Cerealien Milchprodukte, Eipulver, Fleisch, Fisch
Veränderung des Geruchs und Geschmacks	Ranzigkeit Fischigwerden Reversion Terpen- geschmack Missgeruch	Fette und fetthaltige Artikel: Kaffee, Backwaren, Konditorei- waren, Nüsse, Milch- und Eiproducte, Fleisch usw. Butter u.a. Fischöle u.a. stark ungesättigte Oele Citrus-Säfte, aetherische Oele
Veränderung der Festigkeit	Weichwerden	Gewisse eiweißhaltige Lebens- mittel beim Bestrahlen oder Erhitzen Getrocknete Mohrrüben Obst und Gemüse bei Bestrah- lung mit ionisierenden Strahlen
Keine sinnenfälligen Merkmale	Verlust an lebenswichtigen Nährstoffen Auftreten schädlicher Stoffe Auftreten sensibilisierender Stoffe, z.B. durch Bestrahlung;	Vitamine essentielle Aminosäuren essentielle Fettsäuren anaerob überhitzte Oele oxydierte Fette unbekannt, Existenz nicht aus- geschlossen

ungesättigten Oelen sowie bei Luftzutritt im Gefolge oxydativer Fettranzigkeit. Jeglicher Alarm über solche Stoffe ist fehl am Platz, denn die toxikologischen Untersuchungen, welche die Existenz solcher Stoffe bewiesen, wurden durchgeführt mit sehr stark verdorbenen Präparaten und bei einseitiger Ernährung der Versuchstiere. Immerhin muss schon allein die Möglichkeit einer Gefährdung des Menschen durch solche Stoffe ernstlich beachtet werden.

## Erforschung

Unser Ziel ist, den Verderb zu verhüten. Welche Möglichkeiten gibt es dafür? Welches sind die Ursachen, die den Verderb auslösen, und welches die Bedingungen, die ihn beeinflussen? Wir wollen diese Probleme näher betrachten.

Der chemische Verderb ist definitionsgemäss die Folge einer oder mehrerer chemischer Reaktionen. Als allgemeinste Gleichung für eine solche chemische Reaktion schreiben wir



$A_1, A_2$  usw. sind die Ausgangsstoffe, die in Reaktion treten;

$E_1, E_2$  sind die Endprodukte im Zeitpunkt der Untersuchung;  $i$  und  $k$  sind Symbole für die Mengen der Reaktionsteilnehmer. Die Reaktion kann über zahlreiche Zwischenstufen verlaufen. Die Geschwindigkeit der Reaktion ist abhängig von verschiedenen Faktoren, einmal dem Verteilungszustand der Reaktionsteilnehmer – ein Lebensmittel ist ja in der Regel inhomogen –, der lokalen Konzentration, der Beweglichkeit, die ihrerseits wieder abhängt vom Aggregatzustand und dem Wassergehalt. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist weiter abhängig von allfälliger Belichtung und ganz besonders von der Temperatur. Die Reaktionsbedingungen liegen teilweise begründet in der Zusammensetzung und im Gefüge des Lebensmittels, teilweise sind es willkürliche äussere Bedingungen.

Es gilt nun offensichtlich, durch geeignete Wahl der Reaktionsbedingungen die Reaktionsgeschwindigkeit herabzusetzen und damit den Verderb zu verzögern, oder sogar einen der Reaktionsteilnehmer zu entfernen und damit die ganze Reaktion zu verunmöglichen, also den Verderb zu verhindern. Der Faktoren, welche die Reaktion beeinflussen, sind viele, die Zahl der möglichen Kombinationen dieser Faktoren ist sehr gross. Schematische kombinatorische Versuche führen zu unnötigem Arbeitsaufwand. Wir müssen eine gewisse Auswahl der Bedingungen treffen, wozu wir folgende Ueberlegungen anstellen:

Damit eine Reaktion von Verderb begleitet ist, müssen dabei entweder erwünschte Stoffe abnehmen oder es müssen unerwünschte Stoffe auftreten, bzw. zunehmen. Eine andere Möglichkeit gibt es nicht; jeder chemische Verderb ist charakterisiert durch das Verschwinden erwünschter oder die Neubildung unerwünschter Stoffe.

Handelt es sich um Verderb durch Verschwinden erwünschter Stoffe, so sind uns diese Stoffe in der Regel bekannt: es sind bestimmte Vitamine und Aminosäuren, bestimmte natürliche Farbstoffe wie Carotinoide, Chlorophyll, Anthocyane. Die Eigenschaften dieser Stoffe sind im Laboratorium studiert worden. Vom Vitamin  $B_2$  beispielsweise wissen wir, dass es sehr lichtempfindlich ist, Vitamin  $B_2$ -haltige Lebensmittel wie z.B. Milch sind daher vor Licht zu schützen. Praktische Anwendung: Kartonverpackung von Milch anstelle von durchsichtigen Glasflaschen. Chlorophyll und Anthocyane sind bei höherer Temperatur empfindlich gegen Säuren, wir werden daher bei der Verarbeitung von Gemüse und Früchten das pH und die Temperatur zweckmäßig kontrollieren.

*Tabelle 3*  
*Chemischer abiotischer Verderb*

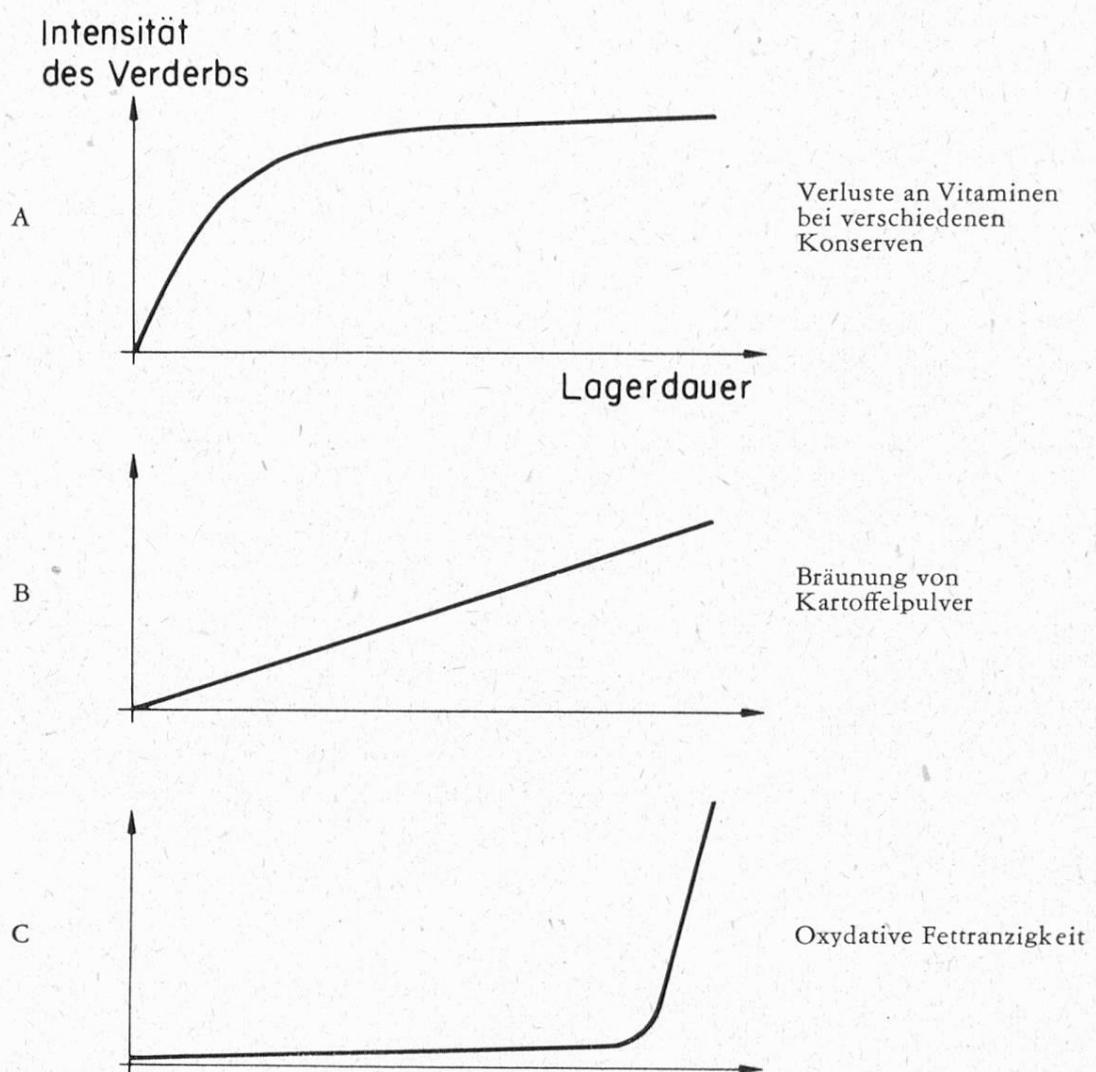
Verschwinden erwünschter Eigenschaften durch Verschwinden erwünschter Stoffe:	
Vitamine	Beeinträchtigung des Nährwertes
Aminosäuren	
Farbstoffe	
Aromastoffe	Beeinträchtigung des Genusswertes
Auftreten unerwünschter Eigenschaften durch Auftreten unerwünschter Stoffe:	
Missfarben	Beeinträchtigung des Genusswertes
Missgerüche	
Schädliche Stoffe	Gefährdung des Konsumenten

Selbst dort, wo die erwünschten Stoffe im einzelnen unbekannt sind, wie etwa bei den Aromastoffen, kennen wir Gruppeneigenschaften: vielfach handelt es sich um Aldehyde und Mercaptane, die oxydationsempfindlich sind; wir werden daher Oxydationsmittel, insbesondere den Luftsauerstoff ausschliessen. (Praktische Anwendung: Verpackung von geröstetem Kaffee unter Sauerstoffausschluss.) Man wäre versucht, das Verschwinden der natürlichen Farbstoffe, Aromen, Vitamine durch künstliche Zusätze wettzumachen. (Beispiel: Grünen von Gemüse.) Dabei handelt es sich aber nicht um eine Bekämpfung, sondern eine blosse Maskierung des Verderbs, die ausserhalb unserer heutigen Diskussion steht.

Schwieriger wird es beim Verderb durch Neubildung unerwünschter Stoffe. Wir kennen vorerst weder diese Stoffe noch ihre Muttersubstanzen, noch die Bedingungen, unter denen sie entstehen. Die eine Forschungsrichtung, die *analytische*, zielt nun darauf ab, die Natur der Zersetzungprodukte, vor allem der Missgerüche aufzuklären, um dann auf deren Herkunft und auf den Bildungsmechanismus zurückzschliessen zu können und so Unterlagen für die Bekämpfung zu gewinnen. Solches Unterfangen war bis vor kurzem ausgesprochen schwierig und zeitraubend. Einmal treten die gesuchten Substanzen nur in sehr geringer Menge auf. Es gibt Geruchsstoffe, die unsere Nase in Mengen von wenigen Milligrammen pro Tonne Lebensmittel noch wahrnehmen kann. Diese Milligramme aus einer Tonne zu isolieren ist nicht ganz einfach, und nicht jedes Forschungsinstitut kann Lebensmittel tonnenweise verarbeiten. Meist handelt es sich bei solchen Geruchsstoffen um Gemische, die erst getrennt und deren einzelne Komponenten identifiziert werden müssen. Manche davon sind sehr reaktionsfähig und verändern sich während der Analyse. Heute besitzen wir in der Gaschromatographie ein unschätzbares Mittel zur Trennung sehr geringer Mengen von Gemischen. Sie hat ihre Leistungsfähigkeit bei der Analyse des

Missgeruchs von bestrahlter Milch und bestrahltem Fleisch erneut unter Beweis gestellt.

Eine zweite, erfolgreichere Forschungsrichtung, die *empirische*, variiert systematisch die Reaktionsbedingungen durch Veränderungen in der Rezeptur, der Verarbeitung und der Verpackung der Lebensmittel und sucht durch geeignete Kombination der einzelnen Bedingungen den Verderb zu verzögern oder zu verhindern. Solches Vorgehen ist natürlich ganz allgemein auf jegliche Art von Verderb anwendbar. Auch diese empirische Versuchstechnik wird durch wissenschaftliche Arbeitshypothesen gesteuert. Wichtig ist einmal der *zeitliche Verlauf* des Verderbs, sowohl für den Produzenten und Händler, welche die Haltbarkeit ihrer Waren kennen müssen, wie auch für den Wissenschafter, welcher aus der Geschwindigkeit der Reaktion wichtige Aufschlüsse über den Mechanismus der



Figur 2

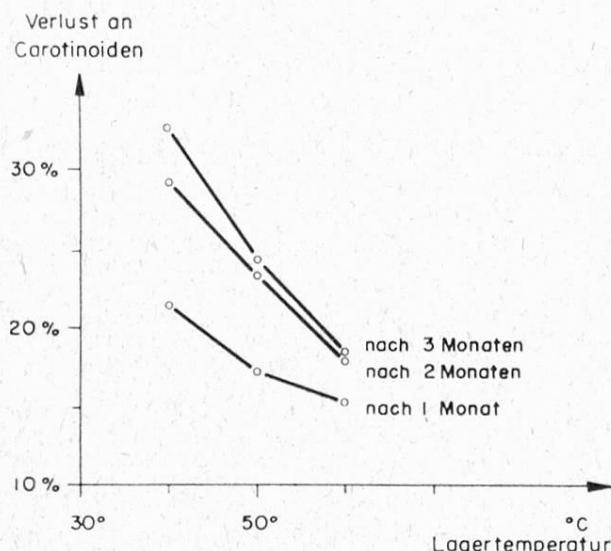
Formen des zeitlichen Verlaufs von abiotischem Verderb (schematisch)

- A: Ein solcher Verlauf ist besonders häufig.
- B: Hier handelt es sich vermutlich um das stark verlangsamte Anfangsstück der Kurve A.
- C: Dieser Verlauf ist auf anfängliche Hemmung des Verderbs zurückzuführen.

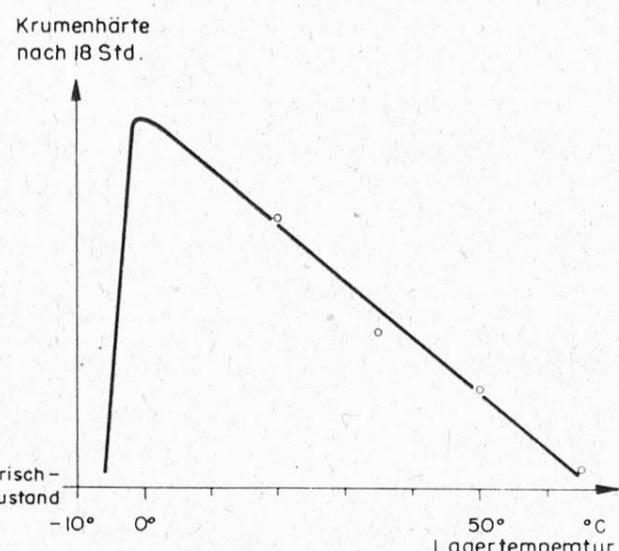
Reaktion gewinnen kann. Z.B. stützen sich unsere heutigen Erkenntnisse über die Anfangsstufen des oxydativen Fettverderbs vor allem auf kinetische Messungen.

Neben der Lagerdauer ist eine weitere wichtige Variable die *Lagertemperatur*. Im allgemeinen tritt der Verderb umso rascher ein, je höher die Lagertemperatur ist. Es gibt jedoch manche bemerkenswerte Ausnahmen.

Abnahme des Carotinoidgehaltes getrockneter Karotten bei der Lagerung



Altbackenwerden von Weizenmischbrot (halbschematisch)



Figur 3

### Anormale Temperaturabhängigkeit von chemischem und physikalischem Verderb

Das Carotin, der gelbrote Farbstoff unserer Mohrrüben, wird in getrockneten Carotten bei 40 Grad rascher zerstört als bei 60 Grad.

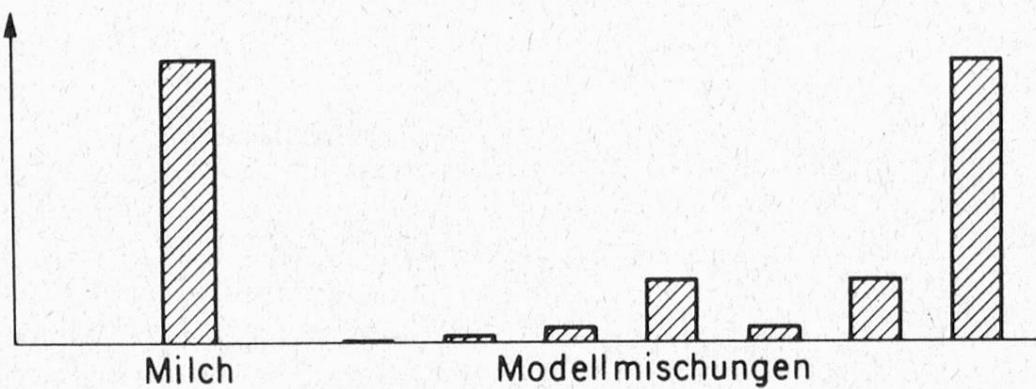
Brot altert besonders rasch bei Temperaturen um den Nullpunkt; bei Temperaturen unter -7 Grad oder über 65 Grad ist das Altbackenwerden fast völlig unterbunden.

Die Ursachen dieser Anomalien sind uns genau bekannt, doch wollen wir darauf nicht eingehen.

Andere wichtige Reaktionsbedingungen sind der *Sauerstoffdruck* und die *Belichtung*, deren Einfluss auf den Verderb regelmäßig geprüft wird.

Durch *Modellversuche* ist es vielfach möglich, herauszufinden, welches die Muttersubstanzen der unerwünschten Reaktionsprodukte sind. Dazu ein Beispiel:

Intensität der Bräunung



Zusammensetzung	abc	(1)	a	b	c	ab	ac	bc
a) Fett	+		+			+	+	
b) Eiweiss	+			+		+		+
c) Milchzucker	+				+		+	+
Wasser, Salze	+		+	+	+	+	+	+

Figur 4  
Bräunung der Milch beim Erhitzen (schematisch)

Milch färbt sich bei längerem Erhitzen braun. Wir wollen herausfinden, welche Bestandteile der Milch für die Bräunung verantwortlich sind. Die chemischen Komponenten der Milch sind Fett, Eiweiss, Milchzucker, Wasser und Salze. Mit diesen Komponenten stellen wir Modellmischungen wechselnder Zusammensetzung her, erhitzen diese und finden, dass die Wirkung der Erhitzung auf die einzelnen Komponenten gering ist, gross ist sie aber, wenn Milchzucker und Eiweiss gleichzeitig in der Modellmischung vorhanden sind, und zwar ist die Wirkung auf die Summe der Komponenten grösser als die Summe der Wirkungen auf die einzelnen Komponenten. Wir ziehen daraus den Schluss, dass die Bräunung erhitzzter Milch hauptsächlich verursacht wird durch eine Reaktion zwischen Milchzucker und Milcheiweiss. Eine strenge Auswertung dieses Faktorenversuchs geschieht auf mathematischem Wege.

### Ursachen

Das enge Zusammenwirken der beiden erwähnten Forschungsrichtungen, der analytisch-kausalen und der empirisch-statistischen, hat viele Ursachen des abiotischen Verderbs aufgeklärt (vgl. Tab. 4). Wir kennen die chemische Natur sehr vieler Missgerüche und wissen, aus welchen Bestandteilen der Lebensmittel sie entstanden sind. Auf die einzelnen Stoffe, die nur dem Chemiker bekannt sind, brauchen wir nicht einzugehen.

*Tabelle 4*  
*Ursachen des chemischen abiotischen Lebensmittelverderbs*

Reaktionen	Art und Geschwindigkeit der Reaktion abhängig von	
	äußern Bedingungen:	innern Bedingungen:
Oxydation Hydrolyse Kondensation Wasserabspaltung Wasseranlagerung Komplexbildung Komplexspaltung Desaminierung Decarboxylierung Polymerisation Umlagerung u.a.	Lagerdauer Lagertemperatur Bestrahlung	Sauerstoffdruck Wasserdampfdruck pH Chemische Zusammensetzung 1. Reaktionsteilnehmer 2. Katalysatoren 3. Hemmstoffe Gefüge

Weitaus die wichtigste chemische Reaktion zum Verderb ist die Oxydation durch den Sauerstoff der Luft. Der Sauerstoff, der das Leben ermöglicht, fördert auch die Zersetzung wie nichts anderes. Angriffspunkte sind alle ungesättigten Verbindungen wie etwa die ungesättigten Fettsäuren, sind Polyphenole, sind aber in Gegenwart von Katalysatoren auch Substanzen, die allein eine höhere Stabilität besäßen. Der wichtigste Verderbprozess nicht-oxydativer Natur ist eine bestimmte Form der Bräunung, die Reaktion zwischen Eiweissen und Zukkern (Beispiel: Milch), es ist dies die wichtigste und verbreitetste Form der Bräunung.

Für die Lebensmittelchemie als Wissenschaft und Technik ist es von hohem Interesse, dass zwei so grundverschiedene Erscheinungsformen des Verderbs wie die oxydative Fettranzigkeit und die Bräunung gewisse Ähnlichkeit im Reaktionsmechanismus aufweisen. An entscheidender Stelle der in beiden Fällen sehr komplizierten und längst nicht in allen Einzelheiten bekannten Reaktionsfolgen stehen Radikale oder radikalähnliche Zwischenstufen. (Für die Bräunungsvorgänge scheint dies allerdings nicht allgemein zuzutreffen.) Ein Radikalmechanismus vermag viele Besonderheiten der beiden Veränderungen, wie etwa Polymerisationen, die Hemmung durch kleine Mengen bestimmter Hemmstoffe, die Reaktion mit Sauerstoff und andere mehr zu erklären.

Hauptsächliche Faktoren für den abiotischen Verderb sind als äussere Bedingungen die Lagerdauer, die Lagertemperatur und die Strahleneinwirkung, als innere Bedingungen die chemische Zusammensetzung und das Gefüge der Lebensmittel, wobei bei der chemischen Zusammensetzung der Sauerstoffgehalt, der Wassergehalt und das pH besonders wichtig sind. Diese drei Bedingungen, die von der chemischen Zusammensetzung abhangen, sind herausgehoben, weil wir sie besonders leicht beeinflussen können. Das Gefüge dagegen können wir nur in seltenen Fällen nach Wunsch verändern.

Beim Betrachten einer derartigen summarischen Tabelle (Tab. 4) ist der Chemiker versucht zu sagen: «Das war ja eigentlich zu erwarten». Die ungeheure Vielfalt in der Zusammensetzung unserer Nahrungsmittel bringt es aber mit sich, dass für die Bedürfnisse der Praxis jeder einzelne Fall von Verderb besonders untersucht werden muss. Wir finden dabei nicht selten ein Verhalten, das den Erwartungen widerspricht; ich erinnere an die beiden Fälle von anomaler Temperaturabhängigkeit des Verderbs, die wir vorhin betrachtet haben. Ähnlich unerwartete Fälle, wahre Curiosa, gäbe es noch manche. Die Lebensmittelchemie unterscheidet sich von der reinen organischen Chemie gerade darin, dass bei ihren chemischen Reaktionen neben den offenkundigen Reaktionsteilnehmern noch zahllose andere Stoffe vorhanden sind, welche ihrerseits die Reaktion beeinflussen können und wo es gilt, das Gesetzmässige vom Zufälligen zu trennen. Ganz allgemein unerwartet sind die sich mehrenden Befunde über die Bedeutung von Katalysatoren für die Verderbreaktionen. Das bekannteste Beispiel ist die Beschleunigung der Fettranzigkeit durch gewisse Metalle. Konzentrationen von einigen Metallionen auf 100 Millionen Fettmoleküle genügen,

um das Ranzigwerden spürbar zu beschleunigen. Auch bei gewissen Formen der Bräunung konnte eine Beschleunigung durch Metallsalze nachgewiesen werden. Andere Katalysatoren des Verderbs sind Chlorophyll, Haemoglobin, Carotinoide, Lactoflavin, Eiweisse und viele andere, die zu den normalen Bestandteilen von Lebensmitteln zählen. Neben solchen *Beschleunigern* des Verderbs gibt es auch verschiedenartige natürliche *Hemmstoffe* des Verderbs; ich nenne besonders die Vitamine C und E. Interessant ist die Ambivalenz mancher Verbindungen, wie etwa mancher Mercaptane, Polyphenole, Phosphatide, der Ascorbinsäure, welche je nach Umständen den Verderb sowohl zu hemmen wie auch zu fördern vermögen.

### Bekämpfung

Auf Grund unserer Kenntnisse von der Natur des abiotischen Verderbs wären wir schon heute wohl in der Lage, den Verderb der meisten Lebensmittel auf Jahre hinaus zu verzögern. Die Lebensmittel müssen bei tiefen Temperaturen gelagert werden. Besonders leicht ist die Lichteinwirkung auszuschliessen (Beispiel: Oelflaschen). – Der Sauerstoff wird ausgeschlossen durch Vakuumverpackungen (Beispiel: Nüsse), oder indem man die Luft in der Packung durch inerte Gase wie Stickstoff oder Kohlendioxyd verdrängt. Milchpulverpackungen z.B. kann die Luft durch ein Loch im Boden entzogen und durch ein inertes Gas ersetzt werden, worauf das Loch wieder zugeschweisst wird. Derart verpackte Milchpulver sind bei Raumtemperatur über ein Jahr haltbar, während die angebrochene Dose schon nach wenigen Wochen zu verderben beginnt. Der Wasserdampfdruck von Trockenkonserven kann bei rationellem Verarbeitungsprozess nicht immer so tief gesenkt werden, wie es im Interesse der Haltbarkeit des Produktes wünschenswert wäre. Man geht deshalb neuerdings dazu über, solchen Produkten in die Packung hinein ein Trocknungsmittel beizugeben, welches während der Lagerung den Wassergehalt des Produktes noch weiter senkt und so die Haltbarkeit um ein Vielfaches verlängert. Das pH eines Lebensmittels beeinflusst zahlreiche Verderbreaktionen; es kann bei der Verarbeitung recht leicht auf einen optimalen Wert gebracht werden. Die gefürchteten katalytisch wirkenden Metalle werden ferngehalten durch sorgfältige Wahl aller Materialien, die mit den Lebensmitteln in Berührung kommen. In der Milch- und Fettindustrie sind daher die romantischen Kupferkessel durch Behälter aus rostfreiem Stahl ersetzt worden.

Viele der eben genannten Bekämpfungsmassnahmen gegen den Verderb haben den Nachteil, dass sie sehr kostspielig und für praktische Zwecke nicht immer leicht realisierbar sind. Viel billiger und einfacher ist eine Bekämpfung des Verderbs durch Hemmstoffe. Pflanzenfette enthalten natürliche Hemmstoffe des Verderbs, sogenannte Antioxydantien, die den Eintritt der Ranzigkeit verzögern, dadurch also die Haltbarkeit verlängern. Bekannte Antioxydantien sind die Tocopherole und Lecithine. Das Vorbild der Natur hat sich der Mensch zunutze gemacht und künstliche Hemmstoffe geschaffen, welche

den natürlichen überlegen sind. Gegen die oxydative Fettranzigkeit sind heute rund ein Dutzend künstlicher Antioxydantien verfügbar. Auch gegen die Bräunung gibt es Hemmstoffe: die Ascorbinsäure und die Schweflige Säure. Der Wirkungsmechanismus solcher Hemmstoffe ist noch nicht immer hinreichend bekannt; er ist sehr wichtig. Für die Hemmstoffe des Lebensmittelverderbs beginnt sich nämlich eine Regel abzuzeichnen ähnlich einer andern, die wir aus der Pharmakologie kennen: Hemmstoffe mit gleichem Angriffspunkt in der Verderbreaktion besitzen in Kombination summierte Wirkung, Hemmstoffe mit verschiedenem Angriffspunkt besitzen in Kombination potenzierte Wirkung. Wenn wir also den Wirkungsmechanismus kennen, so können wir durch zweckmässige Kombination der Hemmstoffe deren Wirkung erheblich verstärken. Verwirklicht sind solche Kombinationen in den handelsüblichen antioxydativen Präparaten für Fette.

Die Forschung auf dem Gebiete der Hemmstoffe ist heute sehr intensiv. Man sucht nach immer wirksameren Hemmstoffen und Hemmstoffkombinationen und studiert deren technische Anwendung. Die Bekämpfung des Lebensmittelverderbs durch Hemmstoffe droht andere der früher genannten Bekämpfungsmaßnahmen zu überschatten. Gegenüber den physikalischen Massnahmen besitzt die chemische Bekämpfung durch Hemmstoffe vielfach unbestreitbare Vorteile. Weite Kreise fragen sich aber besorgt, ob nicht der Teufel mit Beelzebub ausgetrieben wird, der Lebensmittelverderb mit gleichermassen unerfreulichen chemischen Zusätzen. Man darf versichert sein, dass in der Schweiz nur solche Hilfsstoffe zugelassen werden, die nach menschlichem Ermessen unbedenklich sind, was etwa von den Tabakwaren oder manchen pharmazeutischen Produkten kaum mit gleichem Recht behauptet werden dürfte. Es genügt aber noch nicht, dass Hemmstoffe nach dem heutigen Stand der Wissenschaft unschädlich sind, um ihre Verwendung in Lebensmitteln zu dulden. Man wird erst noch abwägen, ob es die menschliche Bequemlichkeit ist, die sie wünscht, oder ob die technologische Notwendigkeit und das Interesse des Konsumenten sie rechtfertigen. Dank der Bemühungen der amtlichen Lebensmittelkontrolle und dank der Mitarbeit der Industrie darf sich unser Land rühmen, wie kein zweites grösste Zurückhaltung bei der Bewilligung von Zusätzen zur Nahrung geübt zu haben.

Die wachsende Konzentration des Menschen in Städten verlängert und erschwert den Weg zwischen Produzent und Konsument. Eine zweckmässige räumliche und zeitliche Verteilung der Lebensmittel verlangt erhöhte Haltbarkeit der Produkte und führt damit zwangsläufig zur Konservierung, zur Bekämpfung des Verderbs. Höher als die wirtschaftliche Bedeutung steht die ernährungsphysiologische Bedeutung des abiotischen Verderbs. Es geht nicht nur um eine verlängerte Verkehrsfähigkeit und Genussfähigkeit der Lebensmittel, sondern auch um die Erhaltung des Nährwertes. Die Möglichkeit einer empfindlichen Schädigung des Nährwertes durch abiotischen Verderb ist erhärtete Tatsache. Die neueren Untersuchungen von *Mauron* in der Schweiz und *Fink* in Deutsch-

land über die Verminderung des biologischen Wertes von Trockenmilch-Eiweiss infolge einer Bräunungsreaktion zeigen erneut, wie lückenhaft unsere Kenntnisse auf diesem Gebiet noch sind. Die Versorgung der amerikanischen Stadtbevölkerung mit bestimmten essentiellen Aminosäuren und Vitaminen bewegt sich nach Ansicht einiger amerikanischer Forscher trotz kalorischer Ueberernährung in Richtung der unteren Grenze, wenn nicht darunter hinab. Mag vielleicht eine gewisse Einseitigkeit der Ernährung mit daran schuld sein, so wird man doch jegliche weitere Verminderung der essentiellen Nährstoffe durch abiotischen Verderb zu vermeiden trachten.

Man mag der Meinung sein, dass unser bäuerlich strukturiertes und eher konservatives Land sich ausreichend mit frischen Nahrungsmitteln versorgen kann, so dass eine Fehlernährung durch ungenügende oder unzweckmässige konservierte Lebensmittel kaum zu befürchten sei. Täuschen wir uns nicht! Nach Aussage eines führenden Vertreters der schweizerischen Lebensmittelindustrie übernimmt die Schweizer Hausfrau die amerikanischen Ernährungsgewohnheiten in einem Tempo, das überhaupt nicht nötig wäre. 95 Prozent der amerikanischen Nahrung besteht aus Konserven, Nahrungsmitteln, deren Haltbarkeit durch technologische Massnahmen künstlich verlängert worden ist. Ehe unser Jahrhundert zu Ende gegangen ist, wird in der Schweiz derselbe Prozentsatz erreicht sein. Möge dann unser tägliches Mahl dank dem Sieg über den abiotischen Verderb und dank der Einsicht in eine zweckmässige Ernährung immer noch so beschaffen sein, dass wir die Nährstoffe aus der Nahrung und nicht aus Arzneimitteln aufnehmen.

### *Zusammenfassung*

Merkmale, Erscheinungsformen, Ursachen und Bekämpfung des abiotischen Lebensmittelverderbs und die Methoden zu dessen Erforschung werden zusammengefasst und diskutiert.

### *Résumé*

Revue et discussion des caractéristiques, des formes et des causes de la détérioration abiotique des denrées alimentaires ainsi que des méthodes utilisées pour l'étudier et pour la combattre.

### *Summary*

Review and discussion of the characteristics, the sorts and the causes of abiotic spoilage of foodstuffs and of the methods used for its study and for combating it.