

# Technische Möglichkeiten zur Mikroorganismen-Abtötung bei Hitzesterilisierungsverfahren\*

Dr. Ing. K. Paulus

Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung,  
Institut für Chemie und Technologie, Karlsruhe

Die Hitzesterilisation von Lebensmitteln, bei der nicht nur die möglichst vollständige Abtötung der Mikroorganismen angestrebt wird, sondern auch Enzym-Inaktivierungen sowie physikalische und chemische Veränderungen des Gutes zu beachten sind, erfordert bestimmte Bedingungen bezüglich der Temperatur/Zeit-Relation des Prozesses, wobei i. a. sehr kurze Behandlungszeiten bei entsprechend hohen Temperaturen („Hoch-Kurz-Verfahren“) die günstigsten Ergebnisse liefern. In diesem Beitrag werden die thermodynamischen Grundlagen der Hitzesterilisation kurz skizziert, deren Kenntnis für die Wahl optimaler Prozeßbedingungen ausschlaggebend ist, sowie ein kurzer Überblick über die wichtigsten in der Praxis erprobten Verfahren gegeben.

Das Ziel der Hitzesterilisation war ursprünglich ausschließlich die Abtötung der Mikroorganismen im zu konservierenden Gut. Heute ist der Sterilisationsprozeß ein Optimierungsproblem, da sich positive und negative Vorgänge überlagern. Erwünschte bzw. angestrebte Vorgänge bei der Hitzesterilisation sind neben der Mikroorganismen-Abtötung die Enzym-Inaktivierung, die Gärung des Gutes sowie gewisse physikalische, chemische und sensorische Veränderungen. Unerwünscht sind alle die Qualität des Gutes beeinträchtigenden Veränderungen.

Aus den mikrobiologischen Forderungen resultieren Minimalbedingungen in bezug auf die erforderlichen Temperatur/Zeit-Relationen für den Prozeß, im folgenden kurz Temperatur/Zeit-Produkt genannt. Erhitzungszeit und Erhitzungstemperatur sind jedoch, um diesen Minimalwert zu erreichen, variabel, und es ergeben sich theoretisch unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten. Durch diese Variabilität ist die Optimierung des Sterilisationsprozesses erst realisierbar, und zur Erreichung optimaler Prozeßbedingungen bestehen verschiedene technische Möglichkeiten.

## Mikrobiologische Gegebenheiten

Die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Mikroorganismen-Besiedelung eines Lebensmittels ist äußerst unterschiedlich. Zur Bekämpfung von Mikroorganismen ist es aber unerläßlich, deren Verhalten zu kennen. Von den verschiedenen Mikroorganismen-Klassen, Bakterien, Hefen, Schimmelpilze und Viren, können die meisten schon bei Temperaturen von zum Teil erheblich unter 100°C auch innerhalb sehr kurzer Zeiten abgetötet werden. Bakterien haben insgesamt gesehen die höchste Hitzeresistenz [1, 2]. Alle pathogenen Keime haben ausnahmslos eine niedere Hitzeresistenz. Das Hauptaugenmerk gilt, wie die Klassifikation in Abb. 1 zeigt, den sporenbildenden nichtpathogenen Bakterien. Zu dieser Gruppe von Mikroorganismen mit zum Teil sehr hoher Hitzeresistenz gehört nur noch eine Keimart, die aber wegen ihrer Fähigkeit zur Toxin-Bildung äußerste Beachtung verdient: *Clostridium botulinum*.

Die Hitzeresistenz der Mikroorganismen wird z. T. stark vom Milieu beeinflusst [3]. Wesentlich und eindeutig ist die Abhängigkeit vom pH-Wert. Bakterien weisen mit wenigen Ausnahmen in der Nähe von pH 7 die größte Hitzeresistenz auf, während mit abnehmendem pH-Wert des Gutes auch die Hitzebeständigkeit abnimmt. Der Einfluß organischer Salze im Gut auf die Hitzeresistenz läßt sich nicht verallgemeinern. In Abhängigkeit von der Salzkonzentration werden sowohl Abnahme als auch Zunahme der Resistenz beobachtet. Stärke scheint die Beständig-

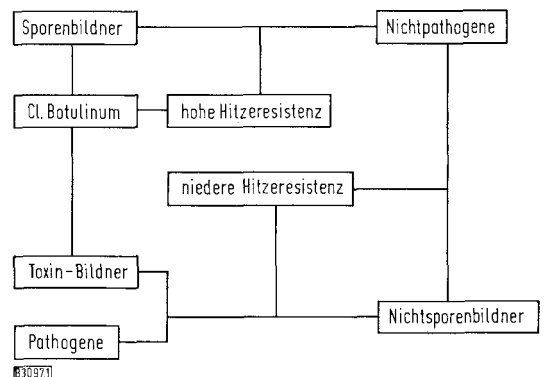


Abb. 1. Mikroorganismen und Hitzeresistenz.

keit gegen Hitze zu verbessern. Auch Zucker, Proteine und Fette sind in der Lage, das Verhalten der Keime bei thermischer Behandlung zu beeinflussen, doch sind die hierbei resultierenden Abweichungen vom normalen Verhalten gering und im Vergleich zum Einfluß des Säuregehaltes uninteressant.

Wird eine Bakterien-Population einer konstanten hohen Temperatur ausgesetzt, so reduziert sich die Zahl der Keime in Abhängigkeit von der Behandlungszeit [3]. Trägt man die Zahl der überlebenden Keime als Funktion der Zeit auf, so ergeben sich für viele Keimarten bei halblogarithmischer Darstellung Geraden, was einer Reaktion 1. Ordnung entspricht. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Zeit, die sog. Temperatur/Todzeit-Kurve,

\* Vortrag auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 13. bis 15. Oktober 1970 in München.

ist in Abb. 2 dargestellt, wobei für jede Temperatur/Zeit-Kombination derselbe Abtöteeffekt zugrunde gelegt ist. Je nach Hitzeresistenz des untersuchten Keims ergeben sich mehr oder weniger steil abfallende Kurven. So kann die Resistenz durch den sog.  $z$ -Wert charakterisiert werden, der die erforderliche Erhöhung der Behandlungstemperatur angibt, um die Behandlungszeit um den Faktor  $10^{-1}$  zu reduzieren. Der  $z$ -Wert von *Clostridium botulinum* beträgt 10 grd; für nichtpathogene Sporenbildner muß aber mit  $z$ . T. erheblich höheren  $z$ -Werten gerechnet werden.

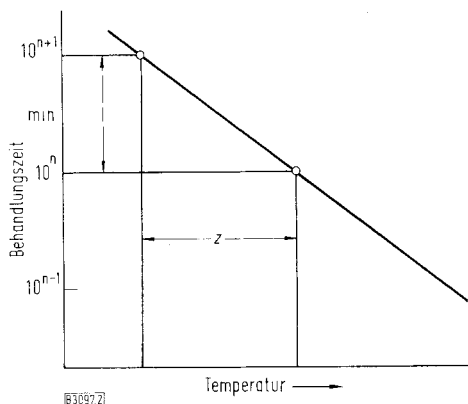


Abb. 2. Vereinfachte Darstellung des Verlaufes der Temperatur/Todzeit-Kurve von Mikroorganismen.

Abb. 3 zeigt, daß u. U. hitzeresistente Enzyme, die das Gut auf chemischem Weg verderben können, die Bedingungen eines Prozesses bestimmen. Häufig haben hitzeresistente Enzyme, wie in Abb. 3, höhere  $z$ -Werte als die Mikroorganismen, so daß besonders bei hohen Behandlungstemperaturen die Enzym-Inaktivierung langsamer erfolgt als die Mikroorganismen-Abtötung.

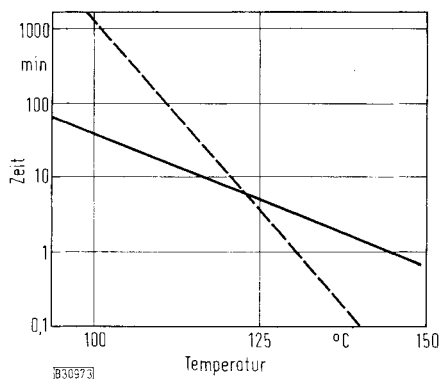


Abb. 3. Abtötungskurve eines Mikroorganismus (---) und Inaktivierungskurve eines Enzyms (—).

Diese Zusammenhänge haben nur unter der Voraussetzung Gültigkeit, daß die Keime schlagartig auf die Behandlungstemperatur und nach entsprechender Zeit ebenso rasch wieder auf niedrigere Temperatur gebracht werden. In der Praxis ist dies jedoch, wie noch gezeigt werden wird, kaum zu verwirklichen.

Immer stellt sich die Frage, wie steril ein Produkt sein muß, wobei übersehen wird, daß es keine Modifikation des Begriffes „steril“ gibt, sondern dieser völlige Keimfreiheit bedeutet. So gibt es auch im Handel nur sehr wenig wirklich sterile Produkte, wie z. B. H-Milchprodukte. In fast allen Fällen wird durch die Hitzesterilisation nur eine biologische Stabilität angestrebt und erreicht, die häufig fälschlicherweise als „praktische“ oder „ausreichende“ Sterilität bezeichnet wird.

## Thermodynamische Gesichtspunkte

Für die Erörterung der technischen Möglichkeiten zur Mikroorganismen-Abtötung bei Hitzesterilisationsverfahren sei im folgenden eine kurze Zusammenfassung der thermodynamischen Grundlagen gegeben.

Die Wärme kann durch Konduktion, Konvektion oder Strahlung auf das Gut übertragen werden. In vielen Fällen kommen jedoch zwei oder alle drei Arten gleichzeitig vor. Hitzeprozesse verändern außerdem die chemische Natur der Lebensmittel und damit auch deren physikalische Eigenschaften. Oft ändert sich z. B. die Viskosität, wodurch das thermische Verhalten des Gutes beeinflußt wird. Hinzu kommt, daß die Produkte selten eine einfache geometrische Form und eine homogene Zusammensetzung aufweisen. Die mathematische Behandlung der Wärmeübertragung bleibt daher trotz aller Fortschritte auf Einzelfälle beschränkt; sie ist also meist zu speziell, zu empirisch oder zu allgemein.

Bei der Hitzesterilisation wird das Gut entweder in einen Behälter gefüllt, dieser verschlossen und dann einer Wärmebehandlung ausgesetzt, oder das Gut wird zuerst sterilisiert und dann in Behälter abgefüllt, wobei die Vorgänge nach der Sterilisation unter aseptischen Bedingungen ablaufen müssen, um eine Reinfektion zu verhindern. Nach dem ersten Verfahren können alle Produkte, nach dem zweiten jedoch nur pumpfähige Produkte behandelt werden. Unabhängig von der Art des Verfahrens muß jedoch in jedem Punkt des zu sterilisierenden Gutes der vorausberechnete oder durch Erfahrung gewonnene Minimalwert des Temperatur/Zeit-Produktes erreicht werden, um die angestrebte Mikroorganismen-Abtötung realisieren zu können.

### Sterilisation in Behältern

Indirekte Wärmezufuhr: Die je Zeiteinheit dem Behälterinhalt zugeführte Wärmemenge ist proportional der Oberfläche des Behälters, der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz und der Wärmedurchgangszahl. Von diesen drei Größen ist die Behälteroberfläche durch die Behältergröße bestimmt. Es bestehen jedoch verschiedene Möglichkeiten, die übertragene Wärmemenge möglichst groß zu machen, und zwar einmal durch entsprechende Auswahl des Sterilisiermediums, womit die Wärmeübergangszahl  $\alpha_a$  auf der Behälteraußenseite und die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenseite beeinflußt wird, sowie zum anderen durch die Art der Prozeßführung, besonders der Behälterbewegung während der Sterilisation, womit die Wärmeübergangszahl  $\alpha_i$  auf der Behälterinnenseite verbessert werden kann.

Als Sterilisiermedien kommen im wesentlichen Heißdampf, Heißwasser, Heißluft oder Heißgase in Betracht. Bei Dampf wird durch Tropfenkondensation an der Behälteraußenseite eine hohe Wärmeübergangszahl erreicht, ebenso bei Wasser, wo ein inniger Kontakt zwischen Sterilisiermedium und Behälter besteht. Mit Luft bzw. Gasen ist der Wärmeübergang schlecht und kann nur durch hohe Anströmgeschwindigkeiten des Gases an die Behälter erhöht werden. Eine weitere Möglichkeit der Wärmezufuhr besteht in der Anwendung einer Strah-

lungsquelle; die Wärmeübergangszahl ist hierbei proportional der vierten Potenz der Temperatur der emittierenden Quelle.

Die Auswahl des Sterilisiermediums und die Festlegung der Temperatur hängen davon ab, ob die Wärme im Gut selbst durch Konduktion oder Konvektion übertragen wird, denn bei der Wärmezufuhr von außen stellt sich im Behälter stets ein Temperaturgefälle von außen nach innen ein. Bei langsamem Wärmetransport im Gut werden bei Anwendung hoher Temperaturen des Sterilisiermediums die Randpartien sehr viel stärker erhitzt als dies erforderlich wäre, wodurch unerwünschte Qualitätsveränderungen entstehen können.

Bei Behältern mit festem Inhalt wird die Wärme durch Konduktion übertragen, und der kritische Punkt, der am langsamsten erwärmt wird, ist gleich dem geometrischen Zentrum des Behälters. Die Effektivität der Wärmeeindringung wird außer von physikalischen Eigenschaften des Gutes auch von der Behälterform bestimmt. Die Zeit zur Erreichung einer bestimmten Temperatur ist um so kürzer, je mehr das Verhältnis von Behälterdurchmesser zu Behälterhöhe von 1 abweicht. In vielen Fällen tritt neben Konduktion auch freie Konvektion auf, wodurch die angestrebte Temperatur im Gut rascher erreicht wird. Der kritische Punkt liegt in diesem Fall auf der Längsachse zwischen dem geometrischen Zentrum und dem Behälterboden.

Bei vielen Gütern, vor allem fluiden und pastösen, entsteht durch Bewegung der Behälter im Innern eine erzwungene Konvektion. Die Verringerung der Temperaturanstiegsdauer in Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit zeigt Abb. 4. Unabhängig von anderen Prozeßparametern gibt es eine optimale Drehzahl, bei der die Temperaturanstiegsdauer wegen der dann günstigen Strömung bzw. Durchwirbelung des Gutes ein Minimum erreicht. Neben der Zeitersparnis ermöglicht Rotation eine gleichmäßigere Behandlung des Füllgutes. Überhitzungserscheinungen lassen sich vermeiden, Nähr- und Genußwert werden weniger beeinträchtigt. Weiter können höhere Sterilisationstemperaturen angewendet werden, wie sie bei der Hoch-Kurz-Sterilisation erforderlich sind. An Bewegungsarten kommen in Betracht: End-über-End-Rotation, Rotation um die Längsachse sowie Pendeln.

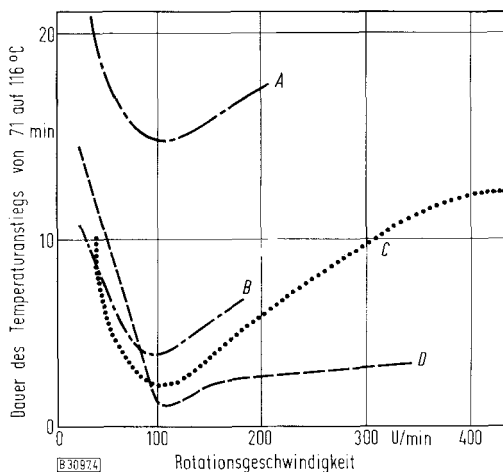


Abb. 4. Einfluß der Rotationsgeschwindigkeit auf die Dauer des Temperaturanstiegs (nach D. J. Casimir [4]). (A, B, C, D sind Kurven für Maisbrei verschiedener Viskosität bei unterschiedlicher Kopfraumhöhe.)

Wärmeerzeugung im Gut: Die gleichmäßige Wärmeerzeugung im Gut selbst, die theoretisch als ideal angesehen werden müßte, ist praktisch nur sehr schwer realisierbar. Zur Diskussion steht die Anwendung eines Hochfrequenzfeldes von Mikrowellen, wodurch in nichtleitendem Gut Energie induziert und absorbiert wird [5, 6, 7]. Wesentlich hierbei ist die Dielektrizitätskonstante des Gutes. Die Dipolmoleküle im Gut suchen sich dem Feld anzupassen, und durch ihre oszillierende Bewegung entsteht Reibungswärme. Die Mikroorganismen werden also auch hier durch thermische Einwirkung abgetötet.

#### Sterilisation außerhalb der Behälter

Indirekte Wärmezufuhr: Das Gut wird in Platten- oder Röhrenaustauschern oder in Votatoren sterilisiert [8], wobei seine Pumpfähigkeit die einzige Bedingung ist. Dadurch wird eine äußerst rasche und gleichmäßige Erhitzung des Gutes erreicht, und die Höhe der erforderlichen Temperatur unterliegt zumindest verfahrensmäßig keiner Beschränkung. Hier ist also eine echte Hoch-Kurz-Sterilisation möglich, da die thermodynamischen Gegebenheiten nahezu ideal sind. Verringerungen der Sterilisationszeiten um den Faktor  $10^{-2}$  sind durchaus möglich.

Direkte Wärmezufuhr: Die Sterilisation durch direkte Wärmezufuhr beschränkt sich auf Flüssigkeiten, wobei entweder das Gut durch Dampfinjektion oder durch Versprühen in eine Heißdampfatmosfera innerhalb Bruchteilen von Sekunden auf sehr hohe Temperaturen gebracht werden kann (Ultrahocherhitzung). Da bei der direkten Dampfzufuhr das Gut durch Kondenswasser verdünnt wird, treten zu den technischen Fragen auch noch rechtliche Probleme.

#### Wahl optimaler Prozeßbedingungen

Wie entscheidend die Wahl optimaler Prozeßbedingungen unter Berücksichtigung thermodynamischer Gesichtspunkte ist, kann mit Abb. 5 zusammenfassend gezeigt werden. Sämtliche Temperatur/Zeit-Verhältnisse der Mikroorganismen-Abtötungskurve ergeben denselben Sterilisierwert ( $F_0 = 10$ ). Bei  $120^\circ\text{C}$  z. B. sind nahezu 15 min erforderlich, während bei  $135^\circ\text{C}$  schon 1 min genügt, um die erforderliche Abtötung zu erreichen. Die beiden anderen Kurven für die Erhaltung von jeweils 95% des Thiamin und Chlorophyll als Indikatoren für den Vitamin-Verlust sowie Farbveränderungen zeigen, daß möglichst

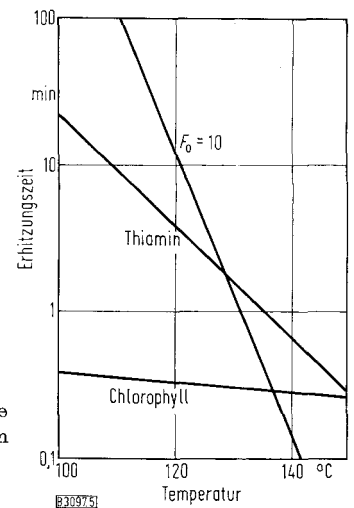


Abb. 5. Zusammenhang zwischen Temperatur/Zeit-Relation und Mikroorganismen-Abtötung ( $F_0 = 10$ ) sowie 95proz. Erhaltung von Thiamin und Chlorophyll (nach R. H. Day [9]).

hohe Temperaturen angewendet werden müssen, um die Inhaltsstoffe des Gutes weitgehend zu erhalten. Bei 135 °C werden weder Thiamin noch Chlorophyll während der zugehörigen Zeit von ca. 1 min zerstört. Dagegen muß bei der 15-Minuten-Behandlung bei 120 °C, einer häufig angewendeten Temperatur bei der Sterilisation von Lebensmitteln in Behältern, doch mit gewissen Schädigungen gerechnet werden.

### Technik der Hitzesterilisierung

Die technische Entwicklung der Hitzesterilisierungsverfahren ist besonders gekennzeichnet von Fortschritten in der Mikrobiologie und der Thermodynamik. Zur Charakterisierung der in der Praxis üblichen Verfahren sollen die wesentlichen kurz besprochen werden, und zwar nur solche, die für Temperaturen über 100 °C ausgelegt sind, da zur Sterilisation der überwiegenden Zahl von Produkten höhere Temperaturen als 100 °C erforderlich sind.

#### Sterilisation in Behältern

Der einfachste und älteste Apparat ist der Standautoklav, ein diskontinuierlich betriebener Druckkessel, der mit Dampf beheizt wird und mit Dampf oder Wasser als Sterilisiermedium arbeitet. Der vereinfachte Temperatur/Zeit-Verlauf des Prozesses in Abb. 6 zeigt die klassische Dreiteilung in die Phasen Steigen (I), Halten (II), Fallen bzw. Kühlen (III). Der Hauptnachteil dieser Verfahrensweise besteht darin, daß die Temperatur im kritischen Punkt des Behälters der Autoklaventemperatur in Abhängigkeit von den Gutseigenschaften mehr oder weniger stark nachhinkt. Aus schon erwähnten Gründen sind selten Temperaturen über 120 °C anwendbar.

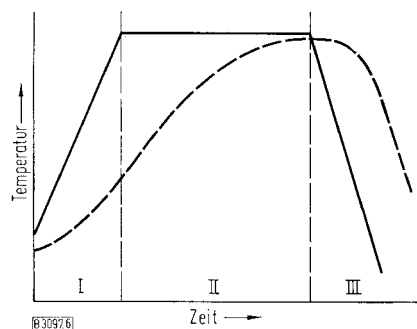


Abb. 6. Vereinfachtes Temperatur/Zeit-Diagramm eines Hitzesterilisationsprozesses bei indirekter Beheizung des Gutes in Behältern.

— Autoklaventemperatur, --- Temperatur im kritischen Punkt des Behälters.

Führt man diesen Autoklaven liegend aus und sieht die Möglichkeit der Bewegung vor (Rotationsautoklav), so kann durch erzwungene Konvektion die Wärmedurchdringung des Gutes erheblich verbessert werden [4, 10, 11]. Bei diskontinuierlich arbeitenden Apparaten ist je nach Beschickung Rotation sowohl um die Längs- als auch um die Querachse, bei kontinuierlich arbeitenden Apparaten im wesentlichen Rotation um die Längsachse möglich. Diskontinuierlich arbeitende Apparate sind heute so weit entwickelt, daß mit Lochkarten das Sterilisationsprogramm einer vollautomatischen Regeleinheit eingegeben wird und der Prozeß ohne äußeren Eingriff abläuft [12]. Bei kontinuierlichen Apparaten besteht zunächst die

Schwierigkeit der Realisierung der verschiedenen Temperatur/Druck-Bedingungen. Bei älteren Bauarten durchlaufen die Behälter mehrere Autoklavenräume mit unterschiedlichen Temperatur/Druck-Verhältnissen, entsprechend der verschiedenen Phasen des Prozesses. Der Einlauf, die Überleitung und der Auslauf der Behälter erfolgen durch Druckschleusen. In den Kesselräumen werden die Behälter gleichzeitig weiterbewegt und rotiert. Die in einen Kessel einlaufenden Behälter werden durch spiralförmige Führungsschienen bei gleichzeitiger Drehung des radähnlichen Einbaus durch den Apparat befördert. Die Rotation der Behälter kommt dadurch zustande, daß sie in der unteren Kesselhälfte an der Kesselwand anliegen und bei der Drehung des Rades an der Wand abgerollt werden.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Druck im eigentlichen Sterilisationsraum durch Wassersäulen zu kompensieren, was im hydrostatischen Autoklaven verwirklicht ist [13], s. Abb. 7. Er besteht aus verschiedenen turmartigen Sektionen. Der Sterilisationsraum  $d$  wird durch Wassersäulen  $c$  begrenzt. Durch den Apparat wird ein endloses Band  $e$  geführt, das mit Behälterhaltungen versehen ist. Die Behälter werden bei  $a$  eingegeben und entnommen und in den Sektionen  $b$  vorgewärmt bzw. vorgekühlt. Nach der Sterilisation können die Behälter durch Besprühen mit Wasser oder durch Eintauchen in Wasser gekühlt werden. Durch diese ganz andere Prozeßführung wird vor allem eine absolut gleichmäßige Behandlung der Produkte erzielt, da eine sehr genaue Kontrolle der Prozeßbedingungen möglich ist. Auch wird durch dieses Verfahren das Gut sehr geschont, da die Druck- und Temperaturübergänge allmählich erfolgen. Das hydrostatische Prinzip wurde in den letzten Jahren modifiziert, und durch Entwicklung von Vorrichtungen, die optimale Rotationsbewegungen der Behälter in den Apparaten zulassen, werden sehr kurze Aufheizzeiten auf hohe Temperaturen (bis zu 135 °C) möglich, womit auch der Gesamtprozeß nurmehr einen Bruchteil der in einem Standautoklaven z. B. erforderlichen Zeit dauert [14, 15].

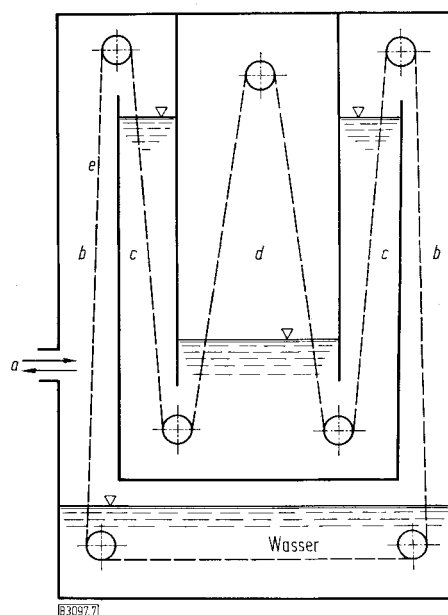


Abb. 7. Schema eines hydrostatischen Autoklaven.

$a$  Ein- und Ausgabe der Behälter,  $b$  Sektionen zur Vorwärmung bzw. -kühlung,  $c$  Wassersäulen,  $d$  Sterilisationsraum,  $e$  endloses Band.

Schon vor mehr als 20 Jahren wurden Versuche mit Heißluft bzw. Heißgas als Sterilisiermedium begonnen, zu einer industriellen Anwendung ist es jedoch nicht gekommen [16]. Eine Weiterentwicklung hiervon ist die Flammensterilisation, die für bestimmte Produkte bereits in größerem Maßstab durchgeführt wird [17, 18]. Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem Gestell aufbau, in den Gasbrenner eingebaut sind. Die Behälter werden einer endlosen Kette aufgegeben und durchlaufen den Apparat über eine Vorwärmzone, die eigentliche Sterilisationszone und eine Kühlzone. Die Flammentemperaturen betragen maximal etwa 1200°C. Zwischen Dosenaußen- und -innenseite treten Temperaturunterschiede von maximal 100 grd auf, weshalb die Behälter außerordentlich rasch rotieren müssen. Temperatursteigerungsraten im Gut bis zu 1 grd/s werden erreicht; hier ist also eine echte Hoch-Kurz-Behandlung durchaus möglich. Voraussetzung ist die konvektive Erhitzung, die sich in diesem Fall nur bei flüssigen Produkten oder Produkten mit großem Flüssigkeitsanteil verwirklichen läßt. Hierbei wird häufig biologische Stabilität noch vor dem Garen erreicht. Mit diesem Verfahren können wegen der schonenden Behandlung qualitativ hochwertige Endprodukte erhalten werden. Der Prozeß wird bei Atmosphärendruck durchgeführt; der Innendruck im Behälter wird nicht wie bei den Autoklaven teilweise durch den Autoklavendruck aufgefangen, so daß bezüglich der Beanspruchbarkeit des Behältermaterials hohe Anforderungen gestellt werden müssen.

Eine Möglichkeit der Wärmeerzeugung direkt im Gut durch Anwendung von Hochfrequenzenergie wurde bereits angedeutet. Das Verfahren steckt jedoch gegenwärtig noch im Versuchsstadium. Die wesentlichen Nachteile bestehen darin, daß Metallbehälter, da sie die Hochfrequenzstrahlung reflektieren, nicht verwendet werden können, und daß eine gleichmäßige Erwärmung des Gutes wegen der inhomogenen Zusammensetzung der meisten Produkte kaum möglich ist. Auch die konstruktive und wirtschaftliche Seite dieses Verfahrens ist noch nicht ausgereift.

#### Sterilisation vor dem Abfüllen in Behälter

Trotz aller technischen Fortschritte werden bei den bisher besprochenen Verfahren nur selten so hohe Temperaturen erreicht, wie sie zur Verkürzung der Behandlungszeit notwendig sind, um die Qualität der Produkte möglichst weitgehend zu erhalten. Dies ist dadurch zu erreichen, daß die Produkte vor dem Abfüllen bzw. Eindosen sehr rasch auf hohe Temperaturen erhitzt, nur sehr kurze Zeiten auf dieser Temperatur gehalten und ebenso schnell abgekühlt werden. Ein solches Hoch-Kurz-Verfahren setzt sich demnach aus zwei Operationen zusammen, der Sterilisation sowie dem aseptischen Abfüllen und Verschließen. Beide Schritte sind im Prinzip einfach, die Verwirklichung macht bisher jedoch noch in vielen Fällen Schwierigkeiten [19, 20].

Bei den indirekten Verfahren werden zunehmend Systeme vom Typ des Votators verwendet, um nicht nur flüssige, sondern auch pastöse Produkte sterilisieren zu können, s. Abb. 8 [9]. Das Gut wird zwischen zwei koaxialen Zylindern eingebracht und unter Einwirkung des Eintrittsdruckes durch den Apparat gefördert. Das Heizme-

dium strömt im äußeren Zylinder. Bei einigen Bauarten strömt das Heizmedium zusätzlich im inneren Zylinder, so daß das Gut von beiden Seiten erhitzt wird. Der innere Zylinder dreht sich um seine Achse. Er ist mit Abstreifern ausgerüstet, welche die in Berührung mit der Heizwand

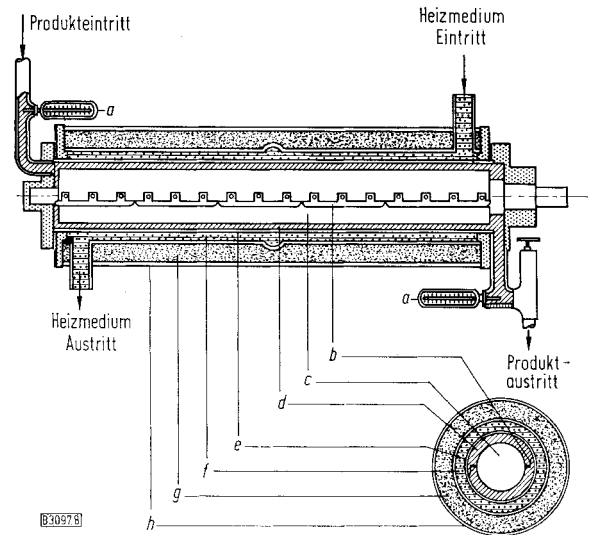


Abb. 8. Schema eines Votators.

a Thermometer, b Schaber, c Welle, d Raum für das Produkt, e Trennwand, f Heizmedium, g Isolierung, h Metallmantel.

stehenden Gutschichten erneuern und eine gute Durchmischung bewirken, wodurch eine gleichmäßige Behandlung des Gutes gewährleistet und ein Anbrennen vermieden wird. Der Austauscher kann in verschiedene Zonen unterteilt oder einzelne Apparate können hintereinander geschaltet werden. Das Fließschema einer ganzen Anlage ist in Abb. 9 dargestellt. Produkt, Behälter und Behälterdeckel werden getrennt sterilisiert. In der Füll- und Verschleißeinheit laufen beide Linien zusammen; zur Aufrechterhaltung einer sterilen Atmosphäre in dieser Einheit kann überhitzter Dampf verwendet werden. — Die indirekten Systeme zeichnen sich einmal durch ihre relative Einfachheit, was die apparative Seite anbelangt, aus, wodurch eine gewisse Variabilität erreicht wird, und zum andern werden zu starke Temperatur- und Druckunterschiede trotz rascher Erhitzung und Kühlung vermieden.

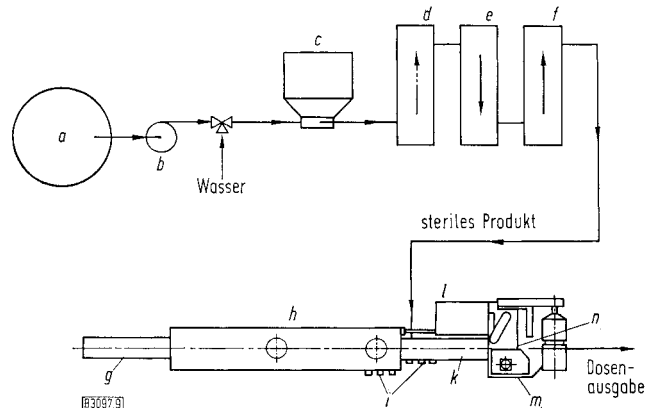


Abb. 9. Fließschema eines Verfahrens mit indirekter Sterilisation und aseptischer Abfüllung (Dole-Verfahren).

a Speichertank für das Produkt, b Pumpe, c Hochdruckpumpe, d Wärmeaustauscher zum Erhitzen, e Wärmeaustauscher zum Halten der Sterilisationstemperatur, f Wärmeaustauscher zum Kühlen, g Doseingabe, h Behälter-Sterilisator, i Kontrollvorrichtungen, k Füllmaschine, l Instrumenteneinheit, m Deckel-Sterilisator, n Verschleißmaschine.

Bei den direkten Verfahren steht bisher nur die Dampfinjektion zur Diskussion [21], die vor allem für Milch und Milchprodukte angewendet wird [22]. Vor der eigentlichen Sterilisation wird die Milch in Wärmeaustauschern vorgewärmt, entgast und entschäumt. In der Sterilisationskammer wird Dampf unter Druck in die Milch eingesprüht; der Dampf kondensiert, und das Produkt wird schlagartig auf Temperaturen von 140 bis 150°C erhitzt, weshalb extrem kurze Behandlungszeiten ausreichen. Dann wird die Milch entspannt, wobei ein entsprechender Anteil des durch Dampf zugeführten Wassers entfernt werden kann. Anschließend wird sofort gekühlt und aseptisch abgefüllt, wobei jede auch noch so geringe mikrobielle Reinfektion des Gutes verhindert werden muß.

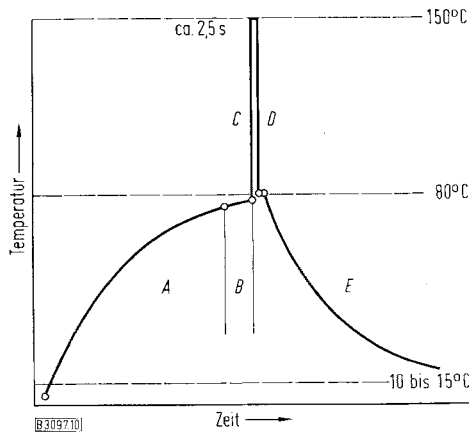


Abb. 10. Temperatur/Zeit-Diagramm der Uperisation.

A Vorwärmer, B Zusatz-Vorwärmer, C Uperisationskopf, D Expansion, E Kühlung.

Ein Vergleich der Temperatur/Zeit-Diagramme der Sterilisation im Standautoklaven (vgl. Abb. 6) und der Ultra-Hocherhitzung (Uperisation), s. Abb. 10, macht den extremen Unterschied beider Verfahrensarten und den Vorteil eines echten Hoch-Kurz-Prozesses deutlich.

Eingegangen am 31. Oktober 1970 [B 3097]

- [1] *H. J. Lange*, Ind. Obst- u. Gemüseverwert. *53*, 489 [1968].
- [2] *R. Spencer*, Food Manufact. *42*, H. 6, S. 29 [1967].
- [3] *C. R. Stumbo*, Thermobacteriology in Food Processing, Academic Press, New York-London 1965.
- [4] *D. J. Casimir*, 4. Internat. Konservenkongr., Berlin 1961.
- [5] *D. A. Copson*, Microwave Heating, The Avi Publishing Company Inc., Westport/Conn. (USA) 1962.
- [6] *G. P. de Loor*, Dechema-Monographien *56*, 109 [1965].
- [7] *G. P. de Loor, F. W. Meijboom*, J. Food Technol. *1*, 313 [1966].
- [8] *J. G. Brennan, J. R. Butters, N. D. Cowell, A. E. V. Lilly*, Food Engineering Operations, Elsevier Publ. Comp. Ltd., Amsterdam-London-New York 1969.
- [9] *R. H. Day*, Food Trade Rev. *40*, H. 7, S. 33 [1970].
- [10] *M. Eisner*, Ind. Obst- u. Gemüseverwert. *51*, 332 [1966].
- [11] *F. P. Niinivaara, J. J. Laine, E. Heikkinen*, Fleischwirtsch. *48*, 431 [1968].
- [12] *M. Eisner*, Ind. Obst- u. Gemüseverwert. *54*, 387 [1969].
- [13] *A. Lock*, Food Trade Rev. *39*, 37 [1969].
- [14] *F. K. Lawler*, Food Engng. *39*, H. 7, S. 73 [1967].
- [15] *M. Mouchet, R. Mouchet*, Ind. alim. agric. *84*, 1352 [1967].
- [16] *E. A. Ekelund, P. Frisk, S. D. T. Berglund*, 4. Internat. Konservenkongr., Berlin 1961.
- [17] *M. Beauvais, G. Thomas, H. Chefstel*, Food Technol. *15*, H. 4, S. 5 [1961].
- [18] *F. K. Lawler*, Food Engng. *39*, H. 2, S. 65 [1967].
- [19] *A. Hersom*, Food Manufact. *44*, H. 4, S. 28 [1969].
- [20] *S. Leonard, B. S. Luh, M. Simone*, Food Technol. *18*, 81 [1964].
- [21] *J. W. Casten*, Food Technol. *19*, 734 [1965].
- [22] *H. Burton*, Milchwissenschaft *21*, 18 [1966].