



Grundlagen der Sterilisation

(Kurzfassung)

Inhalt:

<i>Allgemeines zur Sterilisation</i>	2
<i>Definition Sterilisieren und Pasteurisieren</i>	3
<i>Beschreibung der Hitzeabtötung bei zeitlich veränderlichen Temperaturen</i>	3
Der F-Wert	4
Der z-Wert	4
Der D-Wert	5
<i>Auswirkung der Hitzebehandlung auf die Inhaltsstoffe der Lebensmittel</i>	6
Der C _r -Wert	7
Physikalische Veränderungen beim Garen	7
<i>Wärmedurchgang in Konservendosen bei der Sterilisation</i>	8

Grundlagen der Sterilisation

Allgemeines zur Sterilisation

Die empirische Anwendung von Wärme zu Konservierungszwecken ist bereits aus der Antike überliefert. So berichtet der römische Schriftsteller PLINIUS (23 bis 79), daß in Kreta Weine vor dem Schiffstransport erhitzt und dadurch haltbar gemacht wurden. Das Prinzip der Konservenherstellung beruht auf den ersten Versuchen des Franzosen APPERT, der im Jahre 1810 seine Erfahrungen über die Hitzesterilisation von Lebensmitteln veröffentlichte. Die nach dem französischen Naturforscher LOUIS PASTEUR (1822 bis 1895) benannte Pasteurisation und Sterilisation gehören zu den wichtigsten Verfahren der jüngeren Zeit. Die systematische Erforschung der Grundlagen der thermischen Abtötung von Mikroorganismen begann erst nach 1920. Die Arbeiten wurden vor allem durch die amerikanische Konservenindustrie und durch die großtechnische Einführung der Milchpasteurisation gefördert. Das Einbeziehen von mathematischen Methoden brachte wesentliche Fortschritte in der Erforschung der theoretischen Grundlagen.

Es gibt in der Praxis zahlreiche Prozesse, die ständig weiterentwickelt werden, bei denen Wärme zur Konservierung von Nahrungsmitteln angewendet wird. Während Kochen, Braten und Backen seit langer Zeit bewährte Methoden zur Zubereitung und indirekter Haltbarmachung von Lebensmitteln sind, ist das Pasteurisieren von Milch, Wein, Bier und anderen Getränken im großtechnischen Maßstab erst in diesem Jahrhundert durch die Entwicklung von Durchlauferhitzern verwirklicht worden. So wurde auch die Konservenherstellung durch die Einführung von Autoklaven gefördert. Die Anwendung des HTST-Verfahrens, moderne Rotationsautoklaven und kontinuierlich arbeitende hydrostatische Sterilisatoren ermöglichen die Herstellung qualitativ hochwertiger und langfristig haltbarer Lebensmittelkonserven in großen Mengen und unter ökonomisch günstigen Bedingungen.

Bei Anwendung entsprechend hoher Temperaturen und ausreichender Erhitzungszeiten lassen sich alle in einem Lebensmittel vorhandenen Mikroorganismen, auch die hitzeresistenten Bakteriensporen, sicher abtöten. Gleichzeitig werden durch die Wärmebehandlung die natürlichen Enzyme inaktiviert und damit nachteilige enzymatische Abbauprozesse verhindert. Empfindliche Nahrungsmittel können nur begrenzt einer Wärmebehandlung ausgesetzt werden, da sonst unerwünschte Veränderungen auftreten. Ebenso wird aus wirtschaftlichen Gründen ein Minimum der Wärmebehandlung angestrebt. Das alles setzt eine genaue Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten bei der Hitzeabtötung sowie deren Abhängigkeit von äußeren Faktoren und Kenntnis der Hitzeresistenz von Mikroorganismen voraus.

Die Ursache für die thermische Abtötung von Mikroorganismen ist eine Enzyminaktivierung. Sie hängt von zahlreichen Faktoren ab. Neben der spezifischen Hitzeresistenz der Mikroorganismenarten und ihrer verschiedenen morphologischen Stadien sind Temperaturhöhe und Erhitzungszeit die wichtigsten Parameter. Weiterhin spielen u.a. der physiologische Zustand der Mikroorganismenzellen und die chemische und physikalische Beschaffenheit des Mediums, in dem die Erhitzung erfolgt, eine große Rolle.

Grundlagen der Sterilisation

Definition Sterilisieren und Pasteurisieren

Sterilisation und Pasteurisation hermetisch verschlossener Behältnisse bezwecken Keimabtötung; die Temperaturregime sind auf diese Zielsetzung abgestimmt. Des Weiteren findet eine Inaktivierung aller Enzyme bei Temperaturen über 100°C statt. Die Haltbarkeit des sterilisierten Produktes ist nur noch durch chemischen Verderb begrenzt. Befindet sich in der Dose jedoch rohes Material, so findet in allen Fällen auch ein Garen des Inhaltes statt, da die Gartemperatur immer überschritten wird.

Beim Sterilisieren treten gegenüber üblichen Garprozessen ungleich höhere thermische Belastungen des Doseninhaltes auf, die auch zu stärkeren Veränderungen führen. So wird in der Regel der Wasseraustritt erhöht, artspezifische Geschmacks- und Geruchsnoten abgebaut, neue Geschmacksnoten ausgebildet, und die Textur wird beeinträchtigt.

Diese Effekte können durch abgewandelte Temperatur- und Zeit-Verläufe beeinflusst werden.

In der Lebensmitteltechnik wird vorwiegend die "Praktische Sterilität" verwendet. Bei (schwach) sauren Lebensmitteln können noch lebende Sporen vorhanden sein, die jedoch nicht auskeimen.

Eine praktische Sterilität lässt sich mit genügend hoher Sicherheit erreichen, wenn die Hitzebehandlung so ausgelegt wird, dass die Zahl der Sporen von *Clostridium botulinum* von 10^{12} auf 10^0 je Milliliter reduziert wird (dies gilt für nichtsaure Konserven mit einem pH-Wert $\geq 4,5$).

Beschreibung der Hitzeabtötung bei zeitlich veränderlichen Temperaturen

In der Praxis ist es unmöglich, die Temperatur während der ganzen Behandlungszeit konstant zu halten. Die Temperatur im behandelten Gut ändert sich wegen der Aufheiz- und Abkühlphase in Abhängigkeit von der Zeit. Ein reales Temperatur-Zeit-Verhalten besteht aus einer Aufheizphase, einer anschließenden Haltezeit und einer Abkühlzeit. Während der Aufheiz- und Abkühlphase verändert sich die Temperatur ständig mit der Zeit. Das Abtöten der Mikroorganismen beginnt bereits vor dem Erreichen der Maximaltemperatur und setzt sich auch beim Abkühlen fort. Bei verpackten Lebensmitteln (z.B. in Dosen) ist die Temperatur-Zeit-Kurve wegen des Wärmetransportes durch das Gut auch örtlich verschieden. Das thermische Zentrum des Gutes wird dabei zuletzt auf Sterilisiertemperatur erhitzt.

Das thermische Zentrum ist der Punkt innerhalb der Verpackung, an dem die Temperatur während des Erhitzens am niedrigsten ist. Dieser Punkt fällt nicht immer mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammen. Die Sterilisationsbedingungen müssen so gewählt werden, daß auch im thermischen Zentrum praktische Sterilität erreicht wird. Hierbei besteht die Gefahr, daß die Randzonen zu stark erhitzt und thermisch geschädigt werden.

Grundlagen der Sterilisation

So ist der Kurvenverlauf der Temperatur-Zeit-Kurve von folgenden Größen abhängig:

- Dosengröße und Dosenform
- Wärmeübertragungsfläche
- Dosenmaterial
- Wärmeübergangszahlen innerhalb und außerhalb der Dose
- Thermische Eigenschaften des Füllgutes

Um die Hitzeabtötungseffekte von Wärmebehandlungen mit unterschiedlichen Temperatur-Zeit-Verläufen vergleichen zu können, werden die Effekte dieser Behandlungen mit steigenden und fallenden Temperaturen auf den Effekt einer Behandlung mit konstanter Temperatur umgerechnet. Hierfür wird der F-Wert eingeführt.

Der F-Wert

Definition des F-Wertes

Der F-Wert dient als Vergleichsgröße für Wärmebehandlungen mit zeitlich veränderlichen Temperaturen. Er gibt das Ausmaß der gesamten Hitzeinwirkung eines bestimmten Sterilisierverfahrens im Hinblick auf das Abtöten einer bestimmten Keimart mit einem bestimmten z-Wert.

Der z-Wert

Definition des z-Wertes:

Der Zahlenwert z gibt die Temperaturdifferenz in K an, um die die Behandlungstemperatur erhöht werden muss, damit die Abtötungszeit bei gleicher Keimzahlreduzierung auf 1/10 verkürzt wird.

Beim Sterilisieren hat man sich auf eine Referenztemperatur von $T=121.1^{\circ}\text{C}=250^{\circ}\text{F}$ geeinigt; aus diesem Grund werden die F-Werte auf diese Temperatur bezogen.

Der Zahlenwert $F_{121,1}$ gibt die Anzahl von Minuten an, die denselben Abtötungseffekt bei konstanter Referenztemperatur bewirken wie das zu charakterisierende Sterilisierverfahren.

Wie der E_r -Wert (Enzyminaktivierungswert) hängt auch der F_r -Wert vom z-Wert (der jeweils betrachteten Mikroorganismenart) ab. Da als Referenzkeim das Clostridium botulinum gewählt wurde, kann dessen z-Wert ($z=10\text{K}$) als Referenzgröße benutzt werden. Der damit gebildete F_r -Wert wird als F_0 bezeichnet.

Daraus folgt, daß der F_0 -Wert die Zeit in Minuten ist, die bei der Temperatur $T=121,1^{\circ}\text{C}$ bei Clostridium botulinum ($z=10\text{K}$) denselben Abtötungseffekt bewirkt wie das zu charakterisierende Sterilisierverfahren.

$$F_0 = F_{T=121,1^{\circ}\text{C}}^{z=10\text{K}}$$

Grundlagen der Sterilisation

Der F_0 -Wert ist beim Sterilisieren von Lebensmitteln von folgenden Einflußgrößen abhängig:

- Zusammensetzung des Gutes
- pH-Wert des Gutes
- Art der vorhandenen Mikroorganismen
- Menge der vorhandenen Mikroorganismen
- Lagertemperatur des sterilisierten Produktes

Zur Auswertung des F_0 -Wertes gibt es mehrere Verfahren:

- Additionsverfahren
- Graphisches Verfahren
- Mathematisches Verfahren nach BALL
- andere mathematische Verfahren (z.B. NumeriCAL™)

Der gesamte F_0 -Wert ergibt sich aus der Addition der erreichten Werte in den einzelnen Zeit-/Temperatur- Intervallen. Mit höheren Kerntemperaturen erreicht man schneller einen hohen F_0 -Wert. Somit dauert es aufgrund des schlechteren Wärmedurchganges unweigerlich länger einen ausreichenden F_0 -Werte in einem pasteusen Produkt zu erhalten.

Der D-Wert

Der konstante Faktor $2,303/k$ wird mit dem Buchstaben D abgekürzt.

D ist eine charakteristische Größe für die Hitzeempfindlichkeit von Mikroorganismen und wird als D-Wert bezeichnet.

Der D-Wert gibt die Zeit an, die erforderlich ist, um bei einer konstanten, letalen Temperatur T die Keim- oder Sporenzahl auf 1/10 des Anfangswertes zu vermindern.

Er ist abhängig von:

- Art der Mikroorganismen
- Entwicklungsstand der Mikroorganismen
- Milieu
- Temperatur

Daraus folgt:

- Die Zahl der überlebenden Mikroorganismen, die einer Erhitzung unterworfen werden, ist umso geringer, je kleiner die Anfangskeimzahl ist. Daher muss der Keimgehalt des zu sterilisierenden Rohstoffes so klein wie möglich gehalten werden. Dieses wird durch eine effektive Betriebshygiene erreicht.

Grundlagen der Sterilisation

Auswirkung der Hitzebehandlung auf die Inhaltsstoffe der Lebensmittel

Durch Hitzeeinwirkung während der Sterilisation können bestimmte Inhaltsstoffe der Lebensmittel so verändert werden, daß der ernährungsphysiologische und sensorische Wert des Gutes gemindert wird. Der Verlust von Vitaminen ist bedingt durch ihren verschiedenen chemischen Aufbau unterschiedlich stark. Bei üblichen Hitzebehandlungsverfahren können Vitaminverluste bis 60% auftreten. Bei Temperaturen oberhalb von 60°C tritt eine Denaturierung der Proteine auf, deren Umfang sehr stark von der Hitzeeinwirkzeit abhängt. Der Proteingehalt wird erst durch lange Hitzeeinwirkung bei hoher Temperatur beeinträchtigt. Die Verluste von Kohlenhydraten durch Hitzebehandlung sind sehr gering. Es kann höchstens ein Teil der wasserlöslichen Proteine durch Auslaugung verloren gehen. Verluste an ungesättigten Fettsäuren treten bei der Hitzebehandlung nicht auf, so daß Fette in ihrem Nährwert nicht beeinträchtigt werden. Luftsauerstoff sollte möglichst ferngehalten werden, da sonst eine Oxidation mit unangenehm riechenden oder schmeckenden Abbauprodukten auftritt. Die Geschwindigkeit, mit der sich Inhaltsstoffe beim Sterilisieren verändern, hängt stark von der Temperatur ab.

Weitere wichtige Einflußgrößen sind:

- Für den Vitaminabbau: pH-Wert
 Sauerstoff
 Licht
 Metallspuren
- Für den Fettabbau: Wasseraktivität
 Sauerstoff
 Licht

Sensorische Veränderungen werden durch komplizierte Reaktionen verursacht, die noch nicht vollständig erforscht sind.

Es treten folgende sensorische Veränderungen auf:

- Bildung von Kochgeruch und Kochgeschmack
- Bräunung durch Maillard-Reaktion
- Verringerung der Aromaintensität von Gewürzen
- Farbänderungen

Grundlagen der Sterilisation

Der C_r -Wert

Der C_r - Wert (Kochschädigungswert) wird als Maß für die während einer Hitzebehandlung bei technischen Sterilisationsverfahren erfolgte Schädigung der Inhaltsstoffe benutzt. Es ist eine Vergleichsgröße, die es gestattet, den Effekt von Temperatur-Zeit-Kurven auf die chemische Reaktion der Inhaltsstoffe zu beurteilen.

Der F_0 -Wert und der C_0 - Wert sind durch das Multiplizieren ihrer sogenannten Letalitätswerte mit dem Zeitintervall, in dem sie auftreten, definiert. Vergleicht man die Letalitätswerte in Abhängigkeit von der Temperatur, wird deutlich, dass die Steigerung des C_0 - Wertes im Bereich bis 123°C höher ist, als bei dem F_0 -Wert. Da der Letalitätswert mit dem Zeitintervall multipliziert wird, sind höhere Sterilisationstemperaturen bei geringerer Einwirkzeit besser, da das Verhältnis der Steigerung zueinander immer besser wird, und sich bei höheren Temperaturen sogar umkehrt.

Aus diesem Grund ist es immer empfehlenswert einen HTST (Hight Temperature Short Time) Prozess anzustreben.

Physikalische Veränderungen beim Garen

Die wichtigste Veränderung ist zunächst die Veränderung der Temperatur, um den gewünschten Garzustand zu erreichen. Den Wärmetransportmechanismen kommt deshalb entscheidende Bedeutung zu. Hierbei sind drei Arten zu unterscheiden :

- Wärmeleitung in festen und auch in nicht bewegten Flüssigkeiten
- Wärmekonvektion in bewegten Flüssigkeiten
- Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen zwei Körpern durch elektromagnetische Wellen.

Aus der Sicht der Praxis ist sicherlich die Erwärmung von festen Lebensmitteln der wichtigste Vorgang, der sich selbst wiederum in Teilschritte untergliedern läßt. Zunächst muß die Wärme an die Oberfläche des festen Lebensmittels herangebracht werden, dann erfolgt der Wärmeübergang auf das Produkt und schließlich die Weiterleitung der Wärme im Produkt. Bei feuchten Garverfahren wird überwiegend eine möglichst homogene Temperaturverteilung erwartet, um den gleichen Gareffekt im Produkt zu bewirken, und dies bedeutet die Vermeidung großer Temperaturgradienten im Produkt selbst.

Grundlagen der Sterilisation

Wärmedurchgang in Konservendosen bei der Sterilisation

Der Wärmedurchgang ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Der Mechanismus des Wärmedurchganges wird maßgebend durch die Konsistenz des Füllgutes bestimmt. Bei pasteusen Füllgütern wie z.B. Fischdauerkonserven erfolgt die Wärmedurchdringung im wesentlichen durch Wärmeleitung. Da ein Stofftransport von den Randzonen der Behältnisse zum Inneren nicht stattfindet, verläuft der Erwärmungsvorgang langsam und symmetrisch von der Behälterwandung her.
Flüssige Güter, und solche, bei denen feste Stoffe in einer Aufgußflüssigkeit schwimmen, werden im wesentlichen durch Konvektion erwärmt. Die in den Randzonen erwärmte Flüssigkeit wird durch eine im Inneren des Behältnisses ausgebildete Konvektionsströmung zu den kälteren Zonen im Doseninneren transportiert. Bei der Konvektion verläuft der Temperaturanstieg des Inhalts entsprechend schneller, als bei der Wärmeleitung.
- Der Wärmedurchgang ist abhängig von dem Temperaturunterschied zwischen der Autoklaventemperatur und der Füllguttemperatur. Je geringer der Temperaturunterschied wird, um so langsamer wird die Erwärmung. Andererseits erfolgt die Erwärmung um so schneller, je größer der Unterschied zwischen Autoklaven- und Füllguttemperatur ist.
- Größe und das Format der Behältnisse und die Art des Behältermaterials haben einen entscheidenden Einfluß auf den Kerntemperaturverlauf. Flache Packungen mit geringer Höhe oder kleinen Durchmessern bieten besonders günstige Voraussetzungen.
- Die Größe des wärmeisolierenden Kopfraumes kann besonders bei Füllgütern, die durch Wärmeleitung erwärmt werden, und bei bestimmten Behälterformaten den Kerntemperaturverlauf erheblich beeinflussen.
- Wird durch das Bewegen der Behältnisse eine Zwangskonvektion erreicht, so nimmt die Geschwindigkeit der Erwärmung erheblich zu.