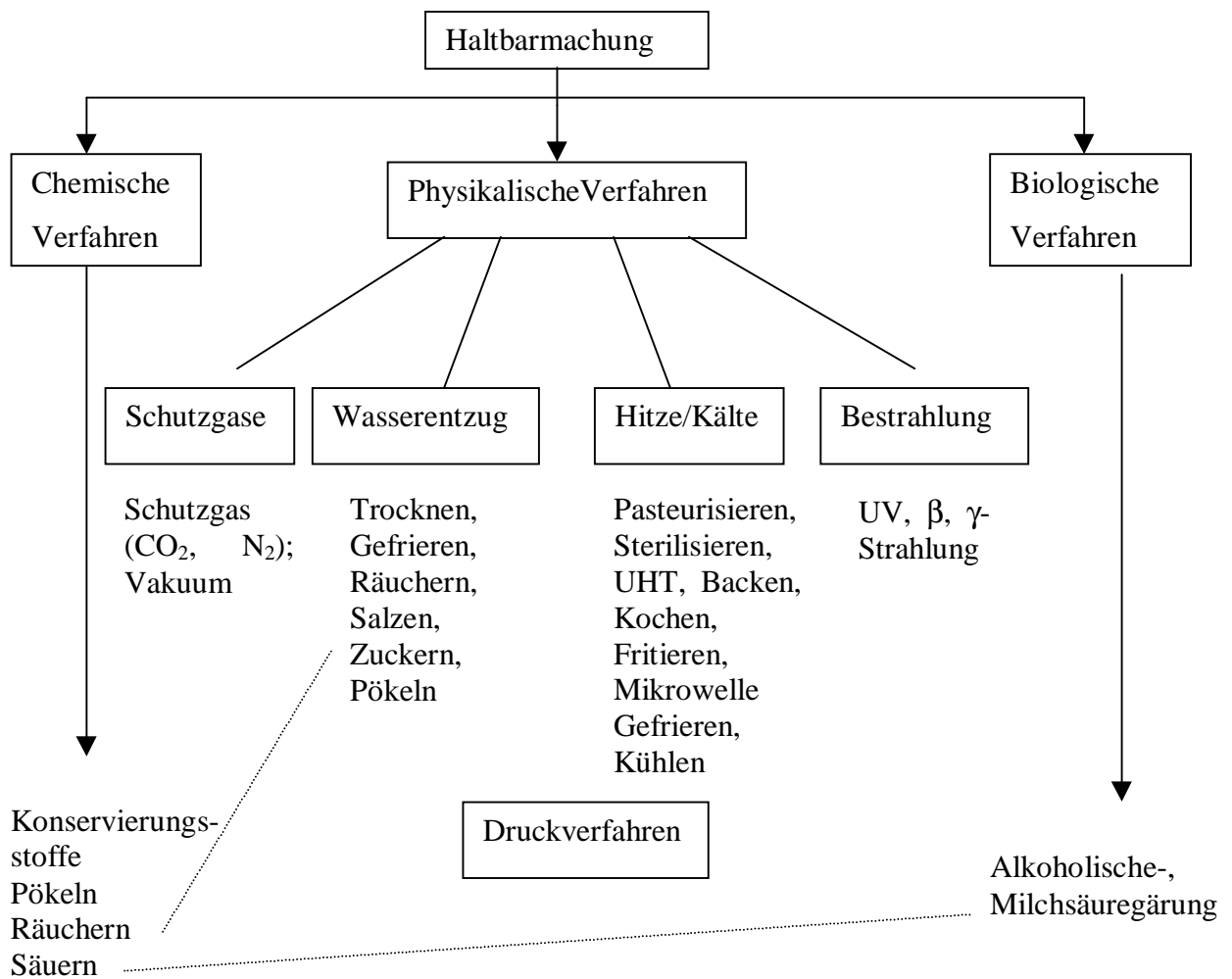


## 5 Haltbarmachung von Lebensmitteln

nagl.netzreport.com

Zur mittel- und langfristigen Haltbarmachung werden physikalische, chemische und biologische Verfahren eingesetzt. Die **physikalischen Verfahren** sind dadurch gekennzeichnet, daß durch Wärmezufuhr (Erhitzen) bzw. Wärmeentzug (Kühlen, Gefrieren) oder durch Einwirkung ionisierender Strahlen die mikrobiologische Aktivität verlangsamt oder gestoppt wird. Bei den **chemischen Verfahren** werden die Mikroorganismen durch zugesetzte Konservierungsstoffe oder durch Substanzen, die beim Räuchern gebildet werden, gehemmt oder abgetötet. Die **Gasatmosphäre** kann durch evakuieren (Vakuumverpackung) oder begasen (z.B. mit CO<sub>2</sub> und/oder N<sub>2</sub>) so verändert werden, daß sie ebenfalls wachstumshemmend auf bestimmte Mikroorganismengruppen wirkt. Die **biologischen Verfahren** umfassen die Konservierung durch Alkohol oder Milchsäure, die bei der Gärung gebildet werden. An der Haltbarmachung durch Absenkung des a<sub>w</sub>-Wertes sind sowohl physikalische (Trocknung, Gefriertrocknung, Tiefgefrieren, Eindampfen) als auch chemische Vorgänge (Salzen, Pökeln, Zuckern) beteiligt.



## 5.1 Erniedrigung der Temperatur

### 5.1.1 Kühlen

#### Lagerung in Haushaltskühlschränken

In Haushaltskühlschränken sind verderbliche Lebensmittel in der Regel nur wenige Tage lagerfähig. Da die mikrobiologisch günstige Kühltemperatur von maximal 5°C häufig nicht unerheblich überschritten wird, sind die maximalen Lagerzeiten in der Praxis in der Regel kürzer als die in der Tabelle angegebenen Zeiten. Neben dem wirtschaftlichen Verlust durch den schnelleren Verderb stellt eine zu hohe Kühlschranktemperatur auch ein erhöhtes gesundheitliches Risiko dar. Mehrere lebensmittelvergiftende Bakterien können sich z.B. bei Kühltemperaturen von 8 bis 10°C bereits innerhalb von 4 bis 5 Tagen um einige Zehnerpotenzen vermehren.

#### Lagerung bei 4 bis 5°C

Wie die Übersicht von SCHMIDT-LORENZ (1990) sehr detailliert zusammenfaßt, wird bei einer Kühltemperatur von 4 bis 5°C die Vermehrung und Toxinbildung der meisten Lebensmittelvergifter sicher gehemmt. Psychrotolerante pathogene Mikroorganismen können sich dagegen auch bei Temperaturen unter + 5°C vermehren. Allerdings verlängern sich bei diesen tiefen Temperaturen die Zeiten bis zum Beginn der Vermehrung (lag-Zeit) und die Generationszeiten der Erreger beträchtlich. In der Regel sind die Lebensmittel während dieser Zeit durch nicht-pathogene psychrotrophe Verderbnisbakterien und durch nicht-mikrobielle Vorgänge verdorben, bevor eine gesundheitsgefährdende Vermehrung pathogener Erreger stattfinden kann.

Minimale Vermehrungstemperaturen pathogener Bakterien
---

#### Mesophile Bakterien

#### Psychrotrophe Bakterien

Organismus	Temperatur	Organismus	Temperatur
<i>Clostridium perfringens</i>	12 - 15°C	<i>Clostridium botulinum</i>	3,0 - 3,3°C
<i>Clostridium botulinum</i>	11 - 15°C	Gruppe II	
Gruppe I		<i>Listeria monocytogenes</i>	0 °C
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	> 10°C	<i>Yersinia enterocolitica</i>	- 2 °C
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	8 - 10°C	<i>Aeromonas hydrophila</i>	- 2 °C
Salmonellen	6 - 10°C	<i>Bacillus cereus</i> *	1 - 4 °C
<i>Staphylococcus aureus</i>	6 - 7°C	<i>E. coli</i> (ETEC)*	1 - 4 °C
- Toxinbildung	18 - 20°C		
- Toxinbildung (seltener)	10 - 16°C		

\* Psychrotrophe Stämme der sonst mesophilen Art

### 5.1.2 Tiefgefrieren

**Tiefgefrorene Lebensmittel (Tiefkühlkost)** müssen ständig eine Kerntemperatur von

$\leq -18^{\circ}\text{C}$  haben. Lediglich beim Be- und Entladen und beim Verkauf darf die Temperatur der Randschicht kurzfristig auf  $-15^{\circ}\text{C}$  ansteigen. Ware, die lückenlos bei dieser Temperatur gelagert wird, ist auch langfristig mikrobiologisch stabil. Die Lagerfähigkeit wird lediglich durch den abiotischen Verderb begrenzt. z.B. können Lipasen auch bei  $-20^{\circ}\text{C}$  noch Fett spalten. Nur relativ kurz (2 bis 3 Monate) können vor allem fette Produkte wie geräucherte Seefische, Faschiertes, Torten und Mürbteig gelagert werden. Eine mittlere Lagerfähigkeit (ca. 8 Monate) besitzen viele Gemüsearten und Fleischprodukte wie Bratwurst, Gulasch oder Aufschnitt. Der überwiegende Teil der tierischen und pflanzlichen Lebensmittel wie Rind- und Schweinefleisch, Butter, Hähnchen, Küchenkräuter, Gemüsearten wie Bohnen und Blumenkohl sowie Obstsorten wie Erdbeeren sind bis zu 12 Monaten lagerfähig. Länger als 12 Monate halten nur Obstsorten wie Äpfel, Aprikosen, Birnen oder Pfirsiche ihre Qualität. Für **gefrorene Lebensmittel** gibt es keine genau festgelegten Richtlinien. Die Temperatur soll im Kern  $-12^{\circ}\text{C}$  betragen und in der Randschicht beim Verladen und im Verkauf nicht über  $-9^{\circ}\text{C}$  ansteigen.

Ein **mikrobieller Verderb** von tiefgefrorenen Lebensmitteln ist nur bei Unterbrechung der Tiefkühlkette möglich. Da auch unterhalb des Gefrierpunktes noch flüssiges Wasser im Lebensmittel vorhanden ist, können sich bestimmte Bakterien bis  $-5^{\circ}\text{C}$  ( $-7^{\circ}\text{C}$ ), Hefen bis  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $-12^{\circ}\text{C}$ ) und Pilze bis  $-15^{\circ}\text{C}$  ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) vermehren. Allerdings sinkt aufgrund des ausgefrorenen Wassers der  $a_{\text{w}}$ -Wert schnell ab. Bereits reines Wasser hat bei  $-10^{\circ}\text{C}$  nur noch einen  $a_{\text{w}}$ -Wert von 0,90. In Lebensmitteln liegt dieser Wert noch wesentlich tiefer. Sichtbare Vermehrung der Mikroorganismen wird auch bei langfristiger Lagerung nur bei Temperaturen über  $-12^{\circ}\text{C}$  bis  $-10^{\circ}\text{C}$  beobachtet. Da am Verderb nur aerobe Mikroorganismen beteiligt sind (Oberflächenverderb), sind kleinstückige Produkte mit großer Oberfläche besonders gefährdet.

### **Gefriervorgang**

Zur Erhaltung einer optimalen Qualität und Struktur der Lebensmittel muß die Temperaturabsenkung auf  $-18^{\circ}\text{C}$  schnell erfolgen (1 bis 5 cm/Stunde). Da mit sinkender Temperatur die Zahl der je Zeiteinheit gebildeten Kristalle rasch zunimmt, werden bei schnellem Gefrieren viele kleine Kristalle extra- und intrazellulär gebildet. Beim langsamen Gefrieren (0,1 bis 1 cm/Stunde) - besonders im kritischen Temperaturbereich zwischen  $-0,5^{\circ}\text{C}$  und  $-5^{\circ}\text{C}$  - bilden sich große Kristalle vor allem zwischen den Zellen. Diese Kristalle erhöhen die Osmolarität des interzellulären nicht ausgefrorenen Wassers und bewirken damit über eine Plasmolyse ein Schrumpfen und Brüchigwerden der Zellen. Bei pflanzlichen Zellen verursacht die interzelluläre Kristallbildung häufig eine Zerstörung der Zellstruktur. Auch zu schnelles Gefrieren ( $> 5$  cm/Stunde) kann besonders bei großen Lebensmittelstücken zu Zerreißen führen.

## **5.2 Hitzebehandlung**

### **Verfahren der Hitzebehandlung**

Ziel der Hitzebehandlung eines Lebensmittels kann das Garen, die Teilentkeimung (Pasteurisieren) oder die Abtötung aller vermehrungsfähigen Mikroorganismen einschließlich der Sporen (Sterilisieren) sein.

### 5.2.1 Mikrowellenbehandlung

Die Hitzeeinwirkung bei den verschiedenen Garungsverfahren führt nicht nur zur Texturveränderung des Lebensmittels, sondern auch zur Schädigung oder Abtötung der Mikroorganismen. Die Einwirkung von Mikrowellen ist ein indirektes Erhitzungsverfahren. Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen im Bereich der Ultrahochfrequenz (300 MHz bis 300 GHz) mit einer Wellenlänge von 1m bis 1mm. Für den Betrieb von Mikrowellenherden ist in der Bundesrepublik Deutschland die Frequenz 2450 MHz zugelassen. Die Lebensmittel werden einem homogenen elektrischen Feld ausgesetzt, das seine Polarität periodisch mit hoher Frequenz ändert. Die Mikrowellen dringen in das Gut ein, erregen durch die wechselnde Polarität Moleküle mit permanenten Dipolen (Wasser, Aminosäuren, Peptide), die wiederum ihre kinetische Energie durch intermolekulare Reibung weitergeben. Die elektrische Energie der Mikrowellen wird dabei fast vollständig in kinetische Energie der Moleküle und damit in Wärme umgesetzt. Je höher der Wasser- und Proteinanteil eines Lebensmittels ist, desto besser ist diese Energieumsetzung. Ist genügend Wasser vorhanden, steigt die Temperatur im bestrahlten Gut auf eine Temperatur von maximal 100° C an. Erst bei Unterschreitung eines Mindestwassergehaltes von 10% kann es zu lokalen Überhitzungen und Verbrennungen kommen. Wasser absorbiert die Energie wesentlich besser als Eis. Mikrowellen werden deshalb vorwiegend zum Garen, seltener zum Auftauen von Lebensmitteln eingesetzt. Neuere Einsatzgebiete sind die Pasteurisation (z.B. von frischen Nudeln, Schnittbrot, Trockengemüse und Fertiggerichten), die Lebensmitteltrocknung (z.B. von Teigwaren und Frucht- und Gemüsekonzentraten) oder die Abtötung von tierischen Schädlingen. Die Erhitzung mit Hilfe von Mikrowellen verläuft wesentlich schneller als die Erhitzung mit Dampf. Allerdings ist der Energiebedarf für die gleiche thermische Wirkung bei Verwendung von Mikrowellen 10 bis 20mal höher als bei der Verwendung von Dampf.

Der Abtötungseffekt auf lebensmittelvergiftende Mikroorganismen beim Mikrowelleneinsatz ist wesentlich von der Art des Lebensmittels abhängig. Grundsätzlich muß mit einer sehr ungleichmäßigen Erwärmung des behandelten Gutes gerechnet werden. Ein besonderes hygienisches Risiko können bei der Erhitzung von inhomogenen Lebensmitteln Bereiche mit schlechter Wärmeleitfähigkeit darstellen, in denen Mikroorganismen überleben können.

### 5.2.2 Pasteurisierung

Für die **Pasteurisierung** werden Temperaturen unter 100°C eingesetzt, die die meisten vegetativen Bakterien, Hefen und Pilze abtöten. Die Pasteurisierung wird für Produkte wie Milch, Obst und Gemüseprodukte oder Flüssigkeiten angewandt, die zur Erhaltung ihrer sensorischen und ernährungsphysiologischen Qualität nur schonend erhitzt werden dürfen.

**Dauererhitzung:** 65°C bis zu 30 Minuten

**Kurzzeiterhitzung:** 71 und 75°C 5 bis 10 Minuten bzw. für Milch nur 40 Sekunden

**Hocherhitzung** bzw. der **Kurzzeithocherhitzung** (H.T.S.T. = "high temperature short time"):

85 und 90°C

**UHT-Erhitzung:** 135-150°C 2-4 Sekunden

Der Vorteil dieser Methode liegt in der sehr schnellen Abtötung der Mikroorganismen und die Reaktionsgeschwindigkeit von unerwünschten chemischen Prozessen steigt nur geringfügig.

### 5.2.3 Sterilisation

Bei der **Sterilisierung** müssen zur Abtötung der bakteriellen Endosporen in der Regel Temperaturen von 115 bis 135°C auf das Lebensmittel einwirken. Da bei der Sterilisation von Lebensmitteln in der Regel einige Sporen überleben, ist das Produkt nicht absolut steril. Eine mikrobiologisch derart gering belastete Konserve wird, wenn die verbleibenden z.T. subletal geschädigten Mikroorganismen durch produktinterne Faktoren an der Vermehrung gehindert werden, auch als "kommerziell steril" bezeichnet. Die Sterilisation erfolgt unter Gegendruck im **Autoklaven**.

#### Hitzeresistenz der Mikroorganismen

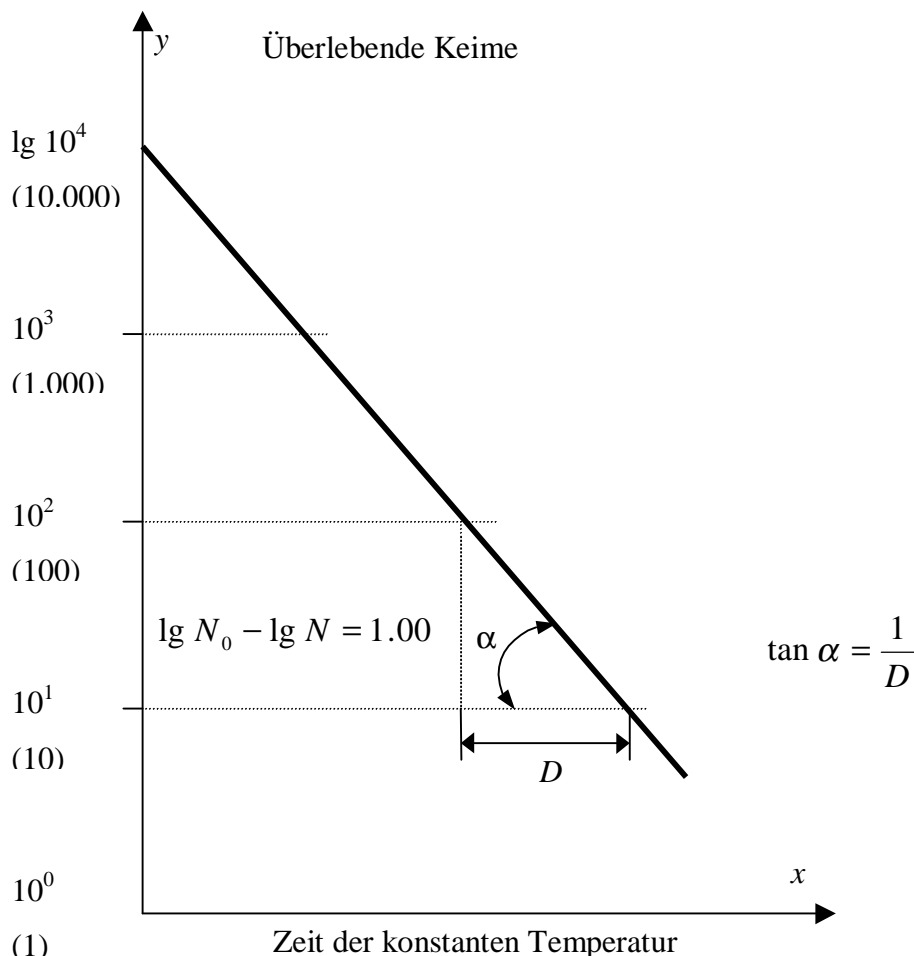
**D-Wert.** Die irreversible Schädigung (Abtötung) einer Mikroorganismenpopulation erfolgt nicht schlagartig, sondern exponentiell, d.h., daß bei einer bestimmten Temperatur der jeweilige Ausgangswert der Keimzahl pro Zeiteinheit immer um den gleichbleibenden Prozentsatz absinkt. Die Zahl in Minuten, die bei einer bestimmten Temperatur notwendig ist, die Keimzahl auf 10% des Ausgangswertes zu reduzieren, wird als D-Wert bezeichnet (Dezimale Reduktionszeit, "decimal reduction time"). Der D-Wert errechnet sich aus der

Gleichung: 
$$D = \frac{t}{\lg N_0 - \lg N}$$

$N_0$  = Anfangskeimgehalt

$N$  = Endkeimgehalt

$t$  = Hitzebehandlungszeit in Minuten



Je hitzeresistenter ein Mikroorganismus ist, desto größer wird bei einer konstanten Temperatur der D-Wert. Der D-Wert selbst wird um so kleiner, je höher die Temperatur ist. Bei der D-Wert-Angabe muß deshalb immer die einwirkende Temperatur im Index mit genannt werden. z.B. bedeutet  $D_{121,1} = 1$  für *Clostridium sporogenes*, daß die Keimzahl des getesteten Stammes bei Einwirkung von  $121,1^{\circ}\text{C}$  (=  $250^{\circ}\text{F}$ ) innerhalb einer Minute um 90% reduziert wird. Die bei  $121,1^{\circ}\text{C}$  ermittelten D-Werte werden auch als  $D_1$ -Werte bezeichnet.

Bei einer konstanten Temperatur wird die zur Abtötung eines Mikroorganismen-Stammes mit einem bestimmten D-Wert benötigte Zeit um so größer, je höher die **Anfangskeimbelastung** eines Lebensmittels ist. Die Verwendung von keimarmen Rohprodukten ist deshalb für die Herstellung von erhitzten lagerfähigen Produkten von außerordentlich großer Bedeutung.

Die meisten **vegetativen Bakterien** werden bereits durch Temperaturen von  $55$  bis  $65^{\circ}\text{C}$  abgetötet. Die  $D_{65}$ -Werte liegen in der Regel in einem Bereich von  $0,2$  bis  $2,0$ . Vor allem gramnegative Stäbchenbakterien wie *E. coli* ( $D_{65} = 0,1$ ) können hitzeempfindlicher, andere wie die Enterokokken ( $D_{65} = 5$  bis  $30$ ) wesentlich hitzeresistenter sein. Eine relativ hohe Hitzeresistenz haben auch Stämme von *Microbacterium lacticum*, die mehrere Minuten lang Erhitzungstemperaturen bis  $80^{\circ}\text{C}$  überleben können. Wesentlich resistenter als die vegetativen Bakterien sind die **Endosporen** von *Bacillus* und *Clostridium*, die in der Regel  $100^{\circ}\text{C}$  mehrere Stunden überdauern können und erst nach einer mehrere Minuten langen Erhitzung auf  $120^{\circ}\text{C}$  (Sporen thermophiler Arten  $>130^{\circ}\text{C}$ ) sicher abgetötet werden. Die **Hefen, Schimmelpilze** und **Schimmelpilzsporen** sind ähnlich hitzeempfindlich wie die vegetativen Bakterien und werden durch Temperaturen ab  $55^{\circ}\text{C}$  abgetötet. Die  $D_{65}$ -Werte betragen in der Regel  $0,5$  bis  $3,0$ . Übliche Pasteurisations- und Abfülltemperaturen für Obst- und Gemüsesäfte liegen bei  $78$  bis  $88^{\circ}\text{C}$ , die angestrebte Kerntemperatur für saure Obstkonserven bei  $80$  bis  $90^{\circ}\text{C}$ . Bestimmte Pilzstämme können Ascosporen (*Neurospora*, *Byssochlamys*) oder Dauerformen, sog. Sklerotien, bilden, die höhere Temperaturen überleben. Besonders hitzeresistent sind die **Ascosporen** von *Byssochlamys*, die deshalb zu den häufigsten Verderbniserregern von Obstkonserven und anderen Obstprodukten gehören.

#### **z-Wert:**

Je höher die Einwirkungstemperatur auf die Mikroorganismen ist, um so schneller erfolgt ihre Abtötung. Die Temperaturerhöhung, die notwendig ist, den D-Wert auf  $1/10$  zu reduzieren, wird als z-Wert (angegeben in  $^{\circ}\text{C}$ ) bezeichnet. Der z-Wert berechnet sich nach der Beziehung:

$$\frac{1}{z} = \frac{\log D_2 - \log D_1}{T_1 - T_2}$$

$D_1$  = D-Wert bei der Temperatur  $T_1$

$D_2$  = D-Wert bei der Temperatur  $T_2$

Je größer der z-Wert ist, um so hitzeresistenter ist die Keimart. Vegetative Bakterien, Hefen und Schimmelpilze haben z-Werte im Bereich von  $4,4$  bis  $6,6^{\circ}\text{C}$ , Endosporen von *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten von  $3$  bis  $30^{\circ}\text{C}$ . Für *Clostridium sporogenes* pA 3679 (international verwendeter Teststamm) sind z.B. Werte von  $8,7$  bis  $11,39^{\circ}\text{C}$ , für *C. botulinum* Typ A von  $8,2$  bis  $9,6^{\circ}\text{C}$  angegeben. Bei der Berechnung von Erhitzungsprogrammen für die

Konservenherstellung für schwach saure Lebensmittel wird von z-Werten von 10°C ausgegangen.

### Beeinflussung der Hitzeresistenz.

Die Hitzeresistenz (D-Wert, z-Wert) ist eine stammspezifische Eigenschaft. Sie wird jedoch u.a. vom **Zustand der Zellen** beeinflusst. Zellen sind in der logarithmischen Wachstumsphase in der Regel hitzeempfindlicher als in der stationären Phase. Einen großen Einfluß hat auch das **Milieu des Mediums**, in dem die Hitzebehandlung stattfindet - vor allem der pH-Wert, der  $a_w$ -Wert und die Anwesenheit von Schutzstoffen. In der Regel haben die Mikroorganismen ihre höchste Hitzeresistenz bei dem pH-Wert, bei dem sie optimal wachsen. Mit sinkendem pH-Wert sinkt deshalb bei Mikroorganismen, die annähernd im neutralen pH-Bereich wachsen, auch die Hitzeresistenz. Im Gegensatz dazu werden einige acidophile Mikroorganismen mit sinkendem pH-Wert so lange hitzeresistenter, bis der optimale Wachstums-pH-Wert unterschritten wird. Bei der Abtötung durch Erhitzung überträgt das Wasser in den Lebensmitteln die letale Energie auf die Mikroorganismen. Mit sinkendem  **$a_w$ -Wert** steigt deshalb die Hitzeresistenz der Mikroorganismen stark an. **Schutzstoffe** wie Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate in den Lebensmitteln erhöhen die Hitzeresistenz vor allem dadurch, daß sie die Zellen als Schutzkolloid umgeben und aufgrund ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit die Wärmeübertragung auf die Mikroorganismen erschweren.

### Berechnung des Sterilisationseffektes

Der **Letalitätswert (Letalitätsrate)** oder Teil-F-Wert (F abgeleitet von Fahrenheit) gibt den Abtötungseffekt während einer einminütigen Hitzeeinwirkung bei einer bestimmten Temperatur auf eine Mikroorganismen-Population mit definierter Hitzeresistenz an. Er wird ausgedrückt als Bruchteil des Abtötungseffektes, der während einer einminütigen Einwirkung von 121,1°C auftreten würde. Die Beziehung zwischen der gemessenen Temperatur T und dem L-Wert lautet demnach:

$$L = 10^{\frac{T-121,1}{z}}$$

Zur Berechnung des Sterilisationseffektes wird der L-Wert für die verschiedenen Temperaturen aus Tabellen entnommen, die in der Regel von einem z-Wert von 10 ausgehen. Bei 121,1°C ist definitionsgemäß  $L = 1$ , bei 101,1°C ist  $L = 0,01$ , bei 111,1°C  $L = 0,1$  und bei 131,1°C  $L = 10$ .

Während einer Sterilisation steigt die Temperatur im Füllgut langsam bis auf die Autoklaventemperatur an (Steigzeit), wird eine bestimmte Zeit bei diesem Wert gehalten (Haltezeit) und fällt nach der einsetzenden Kühlung verzögert wieder ab. Nicht nur die während der Haltezeit einwirkende Temperatur, sondern alle abtötenden Temperaturen haben einen vom z-Wert abhängigen Letalitätswert. Jedem zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessenen Temperaturwert kann bei einem gegebenen z-Wert ein L-Wert zugeordnet werden. Die Summe aller L-Werte gibt den eigentlichen letalen Effekt an, der während des gesamten Erhitzungsvorganges auf die Mikroorganismen einwirkt. Diesen Wert bezeichnet man als **F<sub>0</sub>-Wert**. Im einfachsten Fall wird der F<sub>0</sub>-Wert durch Addition der L-Werte der von Minute zu Minute gemessenen Temperatur bestimmt ( $\sum L = F_0$ ). In modernen Anlagen berechnet ein Mikroprozessor aus dem Temperaturverlauf den F<sub>0</sub>-Wert und steuert damit den Erhitzungsprozeß.

Entsprechend der Definition des L-Wertes gibt der  $F_0$ -Wert die Anzahl der Minuten an, in denen bei  $121,1^\circ\text{C}$  (=  $250^\circ\text{F}$ ) ein letaler Effekt erreicht wird, der der Summe der letalen Effekte während des gesamten Sterilisationsvorganges äquivalent ist. Ein  $F_0$ -Wert von 5 bedeutet demnach, daß auf das Füllgut während des Sterilisationsprozesses insgesamt eine Wärmemenge eingewirkt hat, die der Erhitzung auf  $121,1^\circ\text{C}$  für die Dauer von 5 Minuten äquivalent ist. Da der  $F_0$ -Wert von dem z-Wert abhängt, muß dieser Wert bei der  $F_0$ -Wert-Angabe eines Sterilisationsprozesses immer mit angegeben werden. Der  $F_0$ -Wert, der an der ungünstigsten Stelle des Lebensmittels (i.d.R. im Zentrum) gemessen wird, wird auch als  **$F_c$ -Wert** bezeichnet. Werden in die  $F_0$ -Wert-Berechnung alle günstigen und ungünstigen Bereiche des Füllgutes mit einbezogen, erhält man den mit  **$F_s$ -Wert** bezeichneten integralen Abtötungseffekt.

Zur Ermittlung der Zeit in Minuten, die notwendig ist bei  $121^\circ\text{C}$  einen bestimmten Abtötungseffekt zu erreichen (=  $F_0$ ), kann entsprechend der Definition des D- und F-Wertes bei konstanter Temperatur (siehe oben) auch folgende Beziehung verwendet werden:

$$t = D (\log a - \log b) = F_0$$

D = angenommene Hitzeresistenz eines Leitkeimes

a = Anfangskeimgehalt im Behältnis

b = angestrebter Keimgehalt nach Sterilisation im Behältnis

**Schutz vor Lebensmittelvergiftungen** (schwach saure Konserven). Als Leitkeim gilt *Clostridium botulinum* Typ A oder B mit einem angenommenen  $D_{121,1}$ -Wert von 0,21. Um eine ausreichende Sicherheit zu erreichen, wird gefordert, daß die Anzahl der *Clostridium botulinum*-Sporen durch den Erhitzungsprozeß um 12 Zehnerpotenzen reduziert werden muß (12-D-Konzept). Nimmt man z.B. einen Anfangskeimgehalt von  $10^{12}$  Sporen je Behältnis an, so dürfen nach der Sterilisation keine Sporen mehr vorhanden sein:

Realistischer ist die Annahme, daß nur 1 Spore je Behältnis vorkommt. Nach der Sterilisation dürfen nach dem 12-D-Konzept nur noch  $10^{-12}$  Sporen je Behältnis, d.h. eine Spore in  $10^{12}$  Behältnissen vorkommen.

### C-Wert:

Als quantitatives Maß für die Schädigung der verschiedenen Lebensmittelbestandteile bzw. -eigenschaften durch Wärmebehandlung wird der C-Wert (cook value oder Kochschädigungswert) vorgeschlagen. C-Werte wurden für einige Inhaltsstoffe und Bezugstemperaturen ermittelt. Vergleiche liefern dem Praktiker wertvolle Informationen über das im Interesse einer schonenden Behandlung des Lebensmittels während des Sterilisierens zu verwendende Erwärmungsregime und die einzusetzende Konservierungsformate.



## 5.3 Erniedrigung der Wasseraktivität

### 5.3.1 Trocknen

Bei der Trocknung durch Luft, Sonne, Wärme oder unter Vakuum wird dem Produkt Wasser entzogen und damit der  $a_w$ -Wert gesenkt. Zur Kontrolle eines Trocknungsprozesses wird in der Regel jedoch nicht der  $a_w$ -Wert, sondern der leichter zu bestimmende Wassergehalt ermittelt. Der Wassergehalt hat zum  $a_w$ -Wert eine produktspezifische Beziehung, die graphisch durch eine sigmoide Wassersorptionsisotherme dargestellt werden kann. Nach MOSSEL sollte ein mikrobiologisch stabiles Lebensmittel einen  $a_w$ -Wert von 0,70 oder die entsprechende Wasserkonzentration ("Alarmwassergehalt") nicht überschreiten. In Abhängigkeit von der Art des Lebensmittels können diese Alarmwassergehalte stark differieren. Bei der Trocknung muß der Alarmwassergehalt möglichst schnell unterschritten werden.

Wassergehalt verschiedener Lebensmittel bei  $a_w = 0,70$  (Alarmwassergehalt)

Lebensmittel	Wassergehalt (%)
Nüsse	4 - 9
Vollmilchpulver	7
Kakao	7 - 10
Volleipulver	10
Reis, Hülsenfrüchte	12 - 15
Trockengemüse	12 - 22
Weizenmehl, Nudeln	13 - 15
Trockensuppen	13 - 21
Trockenobst	18 - 25

### 5.3.2 Salzen

Der konservierende Effekt des Salzens beruht vor allem auf der **Senkung des  $a_w$ -Wertes**. Zusätzlich kann es durch die Plasmolyse der bakteriellen Zellen und indirekt durch die Senkung der Sauerstofflöslichkeit zu zusätzlichen Hemmeffekten kommen. Entsprechend der Empfindlichkeit gegenüber einer Erniedrigung des  $a_w$ -Wertes werden vor allem Verderbniserreger wie die Pseudomonaden, *Acinetobacter*, Enterobacteriaceae, *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten gehemmt, während Mikroorganismen wie *Staphylococcus aureus*, Mikrokokken, halophile Bakterien und salztolerante Hefen in Abhängigkeit von der Salzkonzentration und der Temperatur weniger beeinflußt werden.

**Anwendungsgebiete:** Kochsalz (NaCl) wird zur Konservierung als reines Salz (Salzen), z.B. bei der Herstellung von Käse, Butter, bestimmten Fischprodukten, verschiedenen industriellen Zwischenprodukten wie Salzgemüse oder Flüssigei oder zusammen mit Nitrat und/oder Nitratsalzen eingesetzt.

Bei der **Käseherstellung** kann dem Käsebruch das Salz in trockener Form (Trockensalzung) zugesetzt werden. In einer zusätzlichen Trockensalzung wird die Oberfläche bestimmter Käsesorten mit Salz eingerieben oder der Käse wird in Salzbadern eingelegt (Naßsalzung). Der Salzgehalt des reifen Käses beträgt etwa 1 bis 3% bzw. 5% bezogen auf die wäßrige Phase.

Bei der **Butterherstellung** wird dem Butterkorn 0,2 bis 0,3% Salz vor dem Kneten zugesetzt. Das entspricht einer Konzentration von 2 bis 13% in der wäßrigen Phase.

Durch den Zusatz von etwa 3% Salz zur **Margarine** beträgt die Konzentration in der wäßrigen Phase bis zu 19%.

### 5.3.3 Zuckern

Zucker hemmt das Wachstum der Mikroorganismen durch **Erniedrigung des  $a_w$ -Wertes**.

Der Zucker kann als **Kristallzucker** (= 100% Saccharose) oder als Flüssigzucker eingesetzt werden. **Flüssigzucker** wird durch Auflösung und Invertierung von Kristallzucker hergestellt. Der hohe Invertzucker-Anteil (Glucose + Fructose) von etwa 67% bewirkt vor allem bei niedrigen Konzentrationen eine wesentlich stärkere  $a_w$ -Wert Absenkung als die entsprechende Menge Kristallzucker. Noch ausgeprägter ist dieser wasserbindende Effekt bei den durch enzymatische Verzuckerung von Stärke oder aus entproteinisierten Weizenmehlen gewonnenen **Sirupen**, die einen hohen Glucose-Anteil enthalten.

## 5.4 Strahlung - Licht

Mikroorganismen werden durch Strahlung/Licht in ihrem Wachstum behindert. Längere Einwirkung bzw. höhere Strahlungsdosen töten Mikroorganismen ab. Von besonderem Interesse sind Strahlen mit kurzer Wellenlänge.

- UV-Strahlen 13,6 - 390 nm
- $\gamma$ -Strahlen 0,06 - 100 nm; ionisierende Strahlen
- $\beta$ -Strahlen 0,02 - 0,14 nm; ionisierende Strahlen
- Strahlen mit "langer" Wellenlänge (Infrarot und Mikrowellen-Strahlen) wirken durch die Erhitzung des behandelten Gutes; gleiches gilt für das Mehrfrequenzverfahren (rasch wechselndes hochfrequentes elektrisches Feld).

### UV-Strahlen:

UV-Strahlung wird durch spezielle Quecksilberdampflampen erzeugt; auch die Sonne sendet UV-Strahlen aus.

UV-Strahlen wirken auf das Erbmaterial der Mikroorganismen. Dieses wird geschädigt. Besonders wirksam haben sich UV-Strahlen der Wellenlänge 240 - 280nm erwiesen. Die Mikroorganismen sind unterschiedlich leicht durch UV-Strahlen abzutöten. Pauschal sind vegetative Bakterienzellen (hier speziell gramnegative Bakterien) am empfindlichsten; am widerstandsfähigsten erweisen sich die Konidien der Schimmelpilze, Bakteriensporen und Viren.

Gefärbte (pigmentierte) Zellen und Konidien sind resistenter als unpigmentierte.

### Einsatz der UV-Strahlung:

Die geringe Eindringtiefe in Lebensmittel, die Absorption an Trübstoffen und Staubteilchen und die Schädigung von Lebensmittelinhaltsstoffen (z.B. Vitaminen, Farbstoffen, Fetten) begrenzen die Anwendung. Bewährt und zugelassen ist UV-Bestrahlung bei der Entkeimung von Oberflächen (Packmaterial, Hartkäse), Luft (Steriltunnels) und Trinkwasser.

### **Ionisierende Strahlen:**

Ionisierende Strahlen zeichnen sich durch besonders hohe Eindringtiefe aus. Ihre Wirkung beruht letztendlich auf der Schädigung von Zellenzymen. Pauschal gilt für die Empfindlichkeit die gleiche Rangfolge wie bei den UV-Strahlen.

**Einsatz:**  $\gamma$ -Strahlen sind die radioaktiven Elemente Cobalt 60 oder Cäsium 137.

$\beta$ -Strahlen werden durch Kathodenstrahler erzeugt. Sie sind, obwohl keine gesundheitlichen Bedenken bestehen, für Lebensmittel in der Bundesrepublik nicht zugelassen.

Anwendung finden sie bei der Sterilisation medizinischer und bakteriologischer Kleingeräte. Im Ausland werden sie eingesetzt zur Strahlen-Entkeimung von Früchten (z.B. Erdbeeren), Abtötung pathogener Keime bei Hähnchen und Futtermittel (Salmonellen und Shigellen); zur Keimreduzierung bei Gewürzen, Trockensuppen und Enzympräparaten, Entkeimung von Verpackungen.

Aufgrund der großen Tiefenwirkung wäre Strahlen-Sterilisation von verpackten Lebensmitteln wirksam. Dies wäre jedoch nur mit sehr hoher Strahlendosis möglich, so daß die Lebensmittel geschädigt würden. Erfolgversprechender scheint die Methode, das Bestrahlen mit einer Erhitzung (unter Pasteurisierungstemperatur) zu verbinden.

**Röntgenstrahlen** werden wegen ihres schlechten Wirkungsgrades nicht eingesetzt.

## **5.5 Chemische Konservierung**

Zur chemischen Konservierung zählt der Einsatz von Konservierungsstoffen, die Pökellung (Nitritwirkung), das Räuchern und die Verwendung von Schutz ( $\text{CO}_2$ )-Gas.

### **5.5.1 Konservierungsstoffe**

**Toxikologische Unbedenklichkeit.** Die um den Sicherheitsfaktor 100 verkleinerte Konzentration eines Konservierungsstoffes, die im Tierversuch gerade noch keine toxischen Effekte hervorruft (No effect level, NOEL), wird als "acceptable daily intake" (**ADI-Wert** angegeben in mg/kg Körpergewicht/Tag) bezeichnet. Als Ausnahme enthält der ADI-Wert für schweflige Säure einen geringeren Sicherheitsfaktor. Zur Bestimmung des NOEL wird im Tierversuch die akute Toxizität ( $\text{LD}_{50}$ ), die subchronische und chronische Toxizität (Langzeitfütterungsversuche), Kanzerogenität (Tumorerzeugung), Mutagenität (Erbanlagenveränderung), Teratogenität (toxische Wirkung auf den Embryo) sowie das biochemische Verhalten im Körper (Resorption, Verteilung, Akkumulation, Metabolisierung, Ausscheidung) geprüft.

Der ADI-Wert bestimmt die gesetzlich festgelegte **Höchstmenge** eines Konservierungsstoffes in einem bestimmten Lebensmittel. Sie liegt für die meisten Konservierungsstoffe in einem Bereich von 0,1 bis 0,4%.

Nur wenige Substanzen sind toxikologisch so unbedenklich, daß sie zur Konservierung von Lebensmitteln eingesetzt werden dürfen. Dazu gehören neben organischen Säuren wie die Milchsäure (E270), Essigsäure (E266) und Citronensäure (E320) folgende zugelassene Substanzen:

**Sorbinsäure** (E200) und ihre Na-, K- und Ca-Salze (Sorbate) (E201-203)

Vor allem wegen ihres günstigen ADI-Wertes von maximal 25 ist die **Sorbinsäure** zur Konservierung von zahlreichen Lebensmitteln zugelassen.

Anwendungsbeispiele: Fischprodukte, Margarine, mayonnaisehaltige Feinkosterzeugnisse, Oberflächen (Käse, Rohwürste, Rohschinken), Sauerkonserven, Obstprodukte und Obstsaft zur Weiterverarbeitung, brennwertverminderte Konfitüren, Süßwarenfüllungen, alkoholfreie Erfrischungsgetränke, Wein und Scheibenbrot.

**Benzoessäure** (E210) und ihre Na-, K- und Ca-Salze (Benzoate) (E211-213)

Anwendungsbeispiele: Fischprodukte, mayonnaisehaltige Feinkosterzeugnisse, Sauerkonserven, Obstprodukte und Obstsaft zur Weiterverarbeitung, alkoholfreie Erfrischungsgetränke.

**p-Hydroxybenzoessäure-Ester (PHB-Ester)**

Anwendungsbeispiele: Fischprodukte (häufig in Kombination mit Benzoessäure und/oder Sorbinsäure), Süßwarenfüllungen.

**Ameisensäure** (E236) und ihre Na- und Ca-Salze (Formiate) (E237, 238)

HCOOH (Na, Ca)

Ameisensäure hat einen wesentlichen ungünstigeren ADI-Wert von maximal 13, deshalb wird sie nur noch wenig eingesetzt. In einigen Ländern ist ihre Verwendung verboten. (in Ö seit 2000).

Anwendungsbeispiele: Fischprodukte, Sauerkonserven, Essiggemüse

**Propionsäure** (E280) und ihre Na-, K- und Ca-Salze (Propionate) (E280-283)

CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH (Na, K, Ca)

Anwendungsbeispiele: nur bei Schnittbrot (2000).

**Schwefeldioxid** (E220) bzw. **schweflige Säure** und Schwefeldioxid entwickelnde Substanzen  
Schweflige Säure wird nicht nur als Konservierungsstoff, sondern auch als Antioxidationsmittel und als Farbstabilisator verwendet. Aus diesem Grund wird sehr vielen Lebensmitteln schweflige Säure zugesetzt.

**Natriumnitrit** (NaNO<sub>2</sub>, E250)

Nitrit darf Lebensmitteln allein nicht zugesetzt werden. Bereits die Lagerung in einem Lebensmittel-verarbeitenden Betrieb ist nicht gestattet. Nitrit wird direkt nur in Mischung mit Natriumchlorid oder indirekt als Nitrat zugesetzt, aus dem sich das Nitrit durch mikrobiologische Aktivität erst bilden muß. Nitrat selbst hat in den zugesetzten Konzentrationen keine konservierende Wirkung. Im einzelnen werden verwendet:

- Nitritpökelsalz, eine Kochsalz-Nitrit-Mischung mit maximal 0,4 bis 0,5% NaNO<sub>2</sub> (Höchstmenge an Nitrit in Fleischerzeugnissen 0,01%; in Rohschinken 0,015%).
- Kaliumnitrat (Salpeter) als Kochsalz-Kaliumnitrat-Mischung zur Herstellung von umgeröteten Fleischerzeugnissen (Höchstmenge an Nitrat in Rohschinken 0,06%, in Rohwürsten 0,03%).
- Kalium- und Natriumnitrat (KNO<sub>3</sub>, E252; NaNO<sub>3</sub>, E251) im Schnittkäse (maximal 0,015% in der Käsereimilch) und K- bzw. NaNO<sub>3</sub> als Zusatz zu Anchosen aus Heringen und Sprotten (maximal 0,02% berechnet als NaNO<sub>2</sub>).

**Natamycin (Pimaricin)** ist ein Antibiotikum von *Streptomyces natalensis* und wird zur antimykotischen Behandlung der Oberflächen von Hartkäse, Schnittkäse und halbfestem

Schnittkäse mit geschlossener Rinde eingesetzt. Die zulässige Höchstmenge beträgt 2 mg/dm<sup>2</sup> bei einer maximalen Eindringtiefe von 5 mm.

### Wirkungsspektrum:

Die überwiegende Anzahl der Konservierungsstoffe wie **Sorbinsäure**, **Benzoessäure**, **Ameisensäure** und **Diphenyl** wirken in den zugelassenen Konzentrationen vorwiegend gegen Schimmelpilze und Hefen. Bakterien werden nur partiell gehemmt. Die schwache Aktivität der Sorbinsäure gegenüber den Milchsäurebakterien ist bei der Konservierung von milchsaurem Gemüse zur Erhaltung der natürlichen Flora durchaus erwünscht. Die **PHB-Ester** haben ebenfalls vorwiegend eine fungistatische Wirkung, können aber auch zur Unterdrückung des Wachstums zahlreicher Bakterienarten eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den Konservierungsstoffen im engeren Sinne hemmt die **schweflige Säure** vorwiegend Bakterien.

Unterstützt von NaCl wirkt **Nitrit** ausschließlich gegen Bakterien. Von besonderer Bedeutung ist die Wachstumshemmung von *Clostridium botulinum* in gepökeltem Fleisch und Fleischerzeugnissen. In Schnittkäse soll das aus Kaliumnitrat gebildete Nitrit vor allem die durch Clostridien verursachte Spätblähung verhindern. Die antibakterielle Aktivität beruht auf der Reaktion der salpetrigen Säure und den daraus entstehenden Stickoxiden mit zahlreichen Zellinhaltsstoffen. Die Hemmwirkung nimmt entsprechend dem Anstieg des Anteils undissoziierter salpetriger Säure mit sinkendem pH-Wert zu und wird deshalb durch mikrobiell gebildete Säure (Milchsäuregärung u.a.) oder durch zugesetzte Säure erhöht.

**Nitrit** steht mit salpetriger Säure (HNO<sub>2</sub>) im Gleichgewicht, aus der durch spontane Reduktion im sauren Milieu Stickoxid (NO) entstehen kann. In hohen Konzentrationen, die durch Aufnahme gepökelter Erzeugnisse in der Regel nicht erreicht werden, ist Nitrit akut toxisch: Das gebildete Stickoxid blockiert durch die Anlagerung an den Blutfarbstoff Hämoglobin (Bildung von Nitrosohämoglobin), dessen Fähigkeit zum Sauerstofftransport. Größere Gefahren gehen von der möglichen Bildung kanzerogener **Nitrosamine** aus, die durch Reaktion von Nitrit mit nitrosierbaren Aminen entstehen. Bei sachgemäßem Ablauf der Pökellung von frischem Fleisch ist die Gefahr der Nitrosaminbildung allerdings sehr gering. Das Risiko steigt bei Störungen im Pökelprozess, durch die Verwendung von nicht mehr frischem Fleisch (Anstieg der Amine-Konzentration durch den mikrobiellen Verderb) oder durch starkes Erhitzen (Grillen) von Pökelprodukten.

Der ADI-Wert von Nitrit ist mit 0,2 sehr niedrig angesetzt.

**Einfluß des pH-Wertes.** Organische Säuren wie die Essigsäure oder die Milchsäure hemmen das Wachstum der Mikroorganismen durch Absenkung des pH-Wertes.

### 5.5.2 Räuchern

Die konservierende Wirkung des Räucherns beruht auf

- der bakteriostatischen oder bakteriziden Wirkung zahlreicher Rauchinhaltsstoffe wie Formaldehyd und anderen Aldehyden, Phenolen (Guajakol, Phenol, Kresol u.a.) und organischen Säuren (Essigsäure, Ameisensäure u.a.);
- der Austrocknung (a<sub>w</sub>-Wert-Absenkung) vor allem der Oberfläche;
- der Hitzeabtötung der vegetativen Oberflächenflora bei der Heißräucherung.

Der Rauch dringt nur langsam in das Rauchgut von der Oberfläche her ein. In der Regel ist deshalb allein durch das Räuchern keine Keimfreiheit zu erreichen. Auch in den oberen Schichten können Sporen von Schimmelpilzen und Bakterien sowie resistente vegetative Bakterien wie die Milchsäurebakterien überleben. Die Mikroflora in tieferen Schichten wird praktisch nicht beeinflusst. Da heute wesentlich milder und schneller (Schnellräucherung) geräuchert wird, sind zusätzliche Konservierungsmaßnahmen wie Salzen, Pökeln, Erhitzen (Brühen, Kochen) oder Trocknen eine wichtige Voraussetzung für die Haltbarkeit der Räucherprodukte. Lebensmittel werden deshalb heute weniger zur Haltbarkeitsverlängerung, sondern überwiegend zur Entwicklung eines typischen Räucheraromas geräuchert. Weiterhin wirken die Rauchbestandteile antioxidativ, farbbildend und härtend. Da sich zahlreiche geschmacksgebende Komponenten bevorzugt in der Fettphase lösen, nehmen fettreiche Lebensmittel den Rauchgeschmack leichter auf.

**Gesundheitliche Risiken.** Rauch besteht aus einer Teilchenkomponente (Flugasche, Teer, Ruß) und aus einer mit Wassertröpfchen durchsetzten Gaskomponente. Die Gaskomponente enthält tausende verschiedener Verbindungen. Zahlreiche dieser Substanzen haben eine toxische Wirkung auf den Menschen. Besonders gefürchtet sind die kanzerogenen polycyclischen Kohlenwasserstoffe, die vor allem bei höheren Verschmelzungstemperaturen entstehen. Als gut nachweisbare Leitsubstanz dieser Gruppe wird **3,4-Benzopyren** angesehen, von dem nicht mehr als 1 µg in einem Kilogramm eines geräucherten Lebensmittels vorhanden sein darf. Besonders hohe Gehalte an 3,4-Benzopyren treten bei der Räucherung mit stark rußendem Rauch aus Nadelholz oder Harz auf (Schwarzräucherung).

### 5.5.3 Veränderung der Gasatmosphäre

Der **Ausschluß von Sauerstoff**, z.B. durch Vakuumverpackung in flexiblen, gasundurchlässigen Folien (z.B. Polypropylenfolien) oder durch Verpackung in einem inerten Gas wie Stickstoff, führt zu einer Zurückdrängung der aeroben Mikroorganismen (*Pseudomonas*, *Bacillus*-Arten, Schimmelpilze u.a.) und zu einer Förderung der mikroaerophilen aeroben und der anaeroben (bzw. fakultativ anaeroben) Mikroorganismenflora. Einige *Bacillus*-Arten können noch unter stark reduziertem Sauerstoffpartialdruck bzw. anaerob wachsen (*Bacillus cereus*, *B. polymyxa* und *B. macerans*).

Ein zusätzlicher Schutzeffekt geht von einem erhöhten **Kohlendioxidgehalt** der Lageratmosphäre aus. Kohlendioxid hemmt das Wachstum vieler Pilze und Hefen sowie bestimmter Bakterien. In höheren Konzentrationen wird bereits das Auskeimen von Pilzsporen verhindert. Die Wachstumshemmung von Pilzen wird z.B. bei der CA-Lagerung (controlled atmosphere) von Obst und Gemüse ausgenutzt. Die Zusammensetzung der Atmosphäre bei der CA-Lagerung ist abhängig von der Art, z.T. auch von der Sorte des Obstes oder des Gemüses.

Auch die Haltbarkeitsverlängerung von frischem gekühltem Fleisch, das in gasundurchlässigen Folien verpackt ist, beruht nicht nur auf einer Absenkung der O<sub>2</sub>-Konzentration (Verbrauch von O<sub>2</sub> durch den Stoffwechsel des Fleisches und der aeroben Bakterien; Vakuumverpackung), sondern auch auf den hemmenden Effekt des sich bildenden CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> wird aufgrund des Stoffwechsels im Fleisch gebildet. Die Konzentration steigt schnell auf Werte von 20 bis 30% an. Gehemmt werden vor allem die gramnegativen Verderbniserreger. Eine Haltbarkeitsverlängerung von kühl gelagertem Fleisch (0 bis +2°C) unter gleichzeitiger Farberhaltung (Bildung von oxidiertem Myoglobin) ist durch eine

Begasung mit einer Gasatmosphäre möglich, die aus 20 bis 30% CO<sub>2</sub>, 70 bis 80% O<sub>2</sub> und restlichen N<sub>2</sub> besteht.

Außer Fleisch werden heute auch viele andere Lebensmittel unter einer veränderten Gasatmosphäre in gasdichten Folien oder Verpackungen vermarktet.

## 5.6 Kombination verschiedener Wachstumsfaktoren - "Hürdentheorie"

Ein Lebensmittel kann durch eine einzige konservierende Maßnahme sicher vor dem mikrobiologischen Verderb geschützt werden. Nachteil dieses Vorgehens ist, daß es z.B. durch das Erhitzen, Ansäuern oder Abtrocknen zu einer massiven Veränderung der ernährungsphysiologischen und sensorischen Qualität kommen kann. Die Verwendung von Konservierungsstoffen kann darüber hinaus zu einer Beeinträchtigung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit führen.

Durch Kombination von chemischen und physikalischen Konservierungsverfahren können häufig die Einzelmaßnahmen in ihrer Intensität stark reduziert werden. Auch wenn die einzelnen hemmenden Einflüsse für sich alleine nicht zur Haltbarmachung ausreichen, können sie doch in ihrer Summe zu einer optimalen Konservierung des Lebensmittels führen.

Die Erfahrung lehrt, daß mehrere kleine Hürden, das sind ungünstige Wachstumsbedingungen, ebenso das Mikroorganismen-Wachstum verhindern können, wie nur eine sehr große Hürde. Eine längere Haltbarkeit ist nur durch das Zusammenwirken aller Einzelfaktoren gewährleistet.

Leider kann man diese Kombinationseffekte nicht errechnen, sondern muß sie für jedes Produkt bestimmen.

**Beispiel:** Salmonellen können bei pH 5,0 noch (sehr langsam) wachsen, wenn alle anderen Wachstumsfaktoren optimal sind. Sinkt der a<sub>w</sub>-Wert aber zusätzlich unter 0,986 ab, wachsen sie nicht mehr. Es genügt also, zwei Faktoren, von denen jeder für sich nicht ausreichen würde das Wachstum zu unterbinden, zu kombinieren.

z.B. muß zur Unterdrückung des Wachstums von *Clostridium botulinum* Typ A oder B der pH-Wert unter pH 4,5 oder der a<sub>w</sub>-Wert unter 0,95 gesenkt werden. Bei gleichzeitiger Erniedrigung des pH-Wertes und des a<sub>w</sub>-Wertes genügt für den gleichen Hemmeffekt bei einem a<sub>w</sub>-Wert von 0,98 ein pH-Wert von 5,3 und bei einem a<sub>w</sub>-Wert von 0,96 ein pH-Wert von 6,0. In vielen lagerfähigen Lebensmitteln wirken mehrere Hemmeffekte gleichzeitig auf die Mikroorganismen ein.

## 5.7 Hemmstoffe

Hemmstoffe unterdrücken oder verlangsamen das Wachstum der Mikroorganismen. Die Namen der Hemmstoffe, die Mikroorganismen abtöten, enden auf **-zid**. Hemmstoffe, die das Mikroorganismen-Wachstum unterdrücken, die Mikroorganismen aber nicht abtöten, enden auf **-statisch**. Die Vorsilbe zeigt, welche Lebewesen gehemmt/getötet werden: bakteri(o) - Bakterien, fungi - Pilze.

Beispiel: Ein bakteriostatisch wirkender Stoff unterdrückt das Bakterienwachstum, tötet die Bakterien aber nicht ab.

Wie bei jedem Gift hängt die Wirkung von der Konzentration des Hemmstoffes ab. Hemmstoffe wirken auf unterschiedliche Mikroorganismen-Gruppen oder -Arten unterschiedlich stark.

Antimikrobiell wirksam sind viele Substanzen. Sie werden in sieben Stoffgruppen unterteilt:

- 1) Alkohole, Phenole (Kolloidzerstörer)
- 2) Detergentien (Oberflächenentspanner)
- 3) Oxidantien (Giftwirkung durch atomaren Sauerstoff)
- 4) Reduzierer (Redoxpotentialveränderung)
- 5) Schwermetallionen (Plasmaveränderungen, Enzym-Inhibitoren)
- 6) Säuren und Laugen (pH-Änderung, Eiweiß-Hydrolyse)
- 7) Gase (Eiweißdenaturierung)

Es werden häufig verwendet:

**Ethanol** - Beste Wirkung bei Konz. 70%, Sporen bleiben unbeeinflusst.  
Er zerstört die Kolloideigenschaften der Zelle durch Wasserentzug.

**Kupfer, Quecksilber (Schwermetalle)** - Sie machen Enzyme unwirksam durch Bildung unlöslicher Verbindungen.

**Antibiotika** - Sind gegen Mikroorganismen wirksame Stoffwechselprodukte  
z.B. Penicillin: Wirkt nur auf wachsende Zellen. Besonders wirksam gegen grampositive Bakterien; gramnegative Bakterien werden erst durch sehr hohe Konzentrationen geschädigt. Es schädigt die Zellwand der Bakterien.  
Z.B. Pimafucin (= Pimaricin = Natamycin): Wirksam gegen Schimmelpilze. Die Funktion der Pilz-Membran wird beeinträchtigt.

**Sorbinsäure** - Wirkt überwiegend fungistatisch.

Nährböden für den Nachweis spezieller Mikroorganismen (Selektiv-Nährböden), enthalten gewöhnlich Hemmstoffe, wie z.B. giftige Farbstoffe (Brillantgrün, Fuchsin) oder Antibiotika (z.B. Penicillin, Chloramphenicol).