

# Pasteurisieren unter Hochdruck

## Was haben wir von der neuen Konservierungsmethode zu erwarten?

Peter Butz und Bernhard Tauscher (Karlsruhe)

Zur Haltbarmachung von Lebensmitteln werden neben den traditionellen Konservierungsverfahren (Sterilisieren, Gefrieren, Trocknen) auch neue Methoden erprobt. Unter ihnen ist die Anwendung von hydrostatischem hohem Druck die vielversprechendste. Bei geeigneten Bedingungen bietet diese Art der Haltbarmachung entscheidende Vorteile. Der natürliche, frische Geschmack sowohl von rohem Fleisch und rohem Fisch als auch von rohen Früchten und Säften bleibt erhalten. Darüber hinaus treten auch keine Farbveränderungen auf, da Chlorophyll oder  $\beta$ -Carotin nicht zerstört werden. Es handelt sich also um eine schonende Konservierungsmethode, mit der verderbniserregende Keime dennoch zuverlässig abgetötet werden. Daneben lassen sich durch die Anwendung von hohem Druck auch die Struktureigenschaften von Lebensmitteln beeinflussen.

Produktionsanlagen zur Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln besitzen als Kernstück einen großvolumigen Autoklaven (Druckbehälter). Die Produktvor- und -nachbereitung ist ähnlich wie bei Pasteurisierungsverfahren. Die Anforderung an die Behältnisse, die dem Druck ausgesetzt werden, sind minimal: Sie müssen nur flexibel genug sein, um die geringe Komprimierbarkeit von Flüssigkeiten noch reversibel auszugleichen.

Das Verfahren der Hochdruck-Pasteurisierung kommt aus Japan, wo seit mehreren Jahren bereits entsprechende Lebensmittel auf dem Markt sind. In Abbildung 1 sind einige Produkte beispielhaft gezeigt. In Europa wird dieses Verfahren bislang nur im Pilotmaßstab eingesetzt.

Die Prozeßbedingungen hängen vom Produkt ab; es werden Drücke zwischen 4.000 und 8.000 bar bei Temperaturen bis zu 55 °C verwendet. Die Einwirkungszeit beträgt nur wenige Minuten. Die überwältigende Mehrheit sämtlicher Patente im Zusammenhang mit der Hochdruck-Pasteurisierung stammt aus Japan.

Aus der Zahl der Patente wird deutlich, daß das neue Verfahren vor allem für Obst und Gemüse eingesetzt wird. Aber auch für proteinhaltige Lebensmittel wie Milch, Milchprodukte, Fleisch und Fisch ist es von Bedeutung. In Japan wird zum Beispiel hochdruckbehandelter Mandarinen-saft schon in einem Umfang von 1 Million Liter pro Jahr hergestellt. Durch die Anwendung von Druck können auch Reiskuchen produziert werden, die eine geringere allergene Wirkung besitzen sollen.

### GRUNDLAGEN

Temperatur und Druck sind zwei Größen, die in der Thermodynamik eine entscheidende Rolle spielen. Die Anwendung von Wärme in der Lebensmitteltechnologie ist bestens untersucht und weit verbreitet, während Druck bisher nur wenig genutzt wurde. Wie die Temperatur beeinflusst auch der Druck chemische Reaktion jeglicher Art, seien es Denaturierungsvorgänge, organisch-chemische Reaktionen oder Ionisationsvorgänge. Und vor allem vermag hydrostati-

scher Druck auch Mikroorganismen abzutöten.

Bei chemischen Reaktionen beeinflusst der Druck das Gleichgewicht sowie die Reaktionsgeschwindigkeit. Weshalb ist dies so? Mit dem Ausüben von Druck wird versucht, Dinge zusammenzupressen, also ihr Volumen zu verringern. Generell wird daher jeder Vorgang, sei es eine chemische Reaktion oder ein Phasenübergang, unter Druck bevorzugt ablaufen, wenn das Endprodukt ein kleineres Volumen einnimmt als das Ausgangsprodukt hatte. Dieses Prinzip wird nach LeChatelier-Braun benannt und als „Flucht vor dem Zwang“ charakterisiert.

Ein schönes Beispiel ist das Eis: Wasser hat in gefrorenem Zustand ein größeres Volumen als bei 4 °C. Bei Druckerhöhung weicht das Eis dem Zwang durch Schmelzen aus, da es auf diese Weise sein Volumen verringert. Das heißt konkret, ein -10 °C kalter Eiswürfel schmilzt nicht nur bei Erwärmung, sondern auch bei genügend hohem Druck. In diesem Fall entsteht -10 °C kaltes flüssiges Wasser. Umgekehrt gefriert Wasser bei einer Abkühlung unter 0 °C nicht, sofern es unter genügend hohem Druck steht, da sich beim Kristallisieren sein Volumen vergrößern würde. Bei -22 °C beispielsweise ist Wasser gerade noch flüssig, wenn es einem Druck von 2100 bar ausgesetzt ist.

Eine praktische Anwendung ist das sogenannte Drucktauen: Ein tiefgefrorenes stückiges Lebensmittel taut normalerweise langsam und von außen nach innen fortschreitend auf. Durch Druckapplikation verläuft der Auftau-

vorgang jedoch wesentlich schneller. Allerdings muß Wärme nachgeliefert werden, um nach Druckentlastung die Produkte aufgetaut zu erhalten. Dieses Verfahren hat sich in Japan ebenfalls schon fest etabliert.

Die Abtötung von Mikroorganismen mit hydrostatischem Hochdruck gelingt dann, wenn wasserhaltige Lebensmittel behandelt werden. Ein minimaler Wert frei verfügbaren Wassers ist unabdingbare Voraussetzung zur Abtötung. Die Angriffsziele für die Druck-Inaktivierung – verschiedenartige biologische Makromoleküle – sind nur in hydratisiertem Zustand druckempfindlich, Proteinkristalle sind zum Beispiel völlig druckstabil.

## DRUCK UND HITZE ERGÄNZEN SICH

Die Widerstandskraft von Mikroorganismen kann beachtlich sein. Zwar sind die lebenden Formen von Bakterien in der Wachstumsphase sehr druckempfindlich, Hefe- und Schimmelpilze ebenfalls. Demgegenüber sind Sporen als Überdauerungsform von Mikroorganismen gegen vielfältige äußere Einflüsse sehr widerstandsfähig. Sie gehören zu den resistentesten Formen des Lebens überhaupt. Drücke von über 10.000 bar können sie überleben; nach Druckentlastung keimen sie wieder aus und vermehren sich.

An der Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BFE) untersuchten wir die Ascosporen des hitzetoleranten Pilzes *Byssoschlamys nivea*. Diese Keime sind die häufigste Ursache für verdorbene Obstkonserven, da sie die üblichen Pasteurisierungsbedingungen überstehen können. Während weder eine Erwärmung auf 60 °C noch eine Hochdruckbehandlung mit 7.000 bar bei Raumtemperatur den Sporen etwas anhaben konnten, beeinflusste der gleiche Druck bei 60 °C ihre Temperaturempfindlichkeit signifikant. Bereits nach 15 Minuten Druckbehandlung wurden die Sporen empfindlich gegen eine nachfolgende

30minütige Temperaturbehandlung von 80 °C. Das heißt: Auch diese an sich hitzetoleranten Ascosporen können in einem Druck- und Temperaturschritt inaktiviert werden. In Abbildung 2 (S. 24) sind die Ascosporen von *Byssoschlamys nivea* ohne Druckbehandlung und nach einstündiger Behandlung bei 7.000 bar und 70 °C in physiologischer Kochsalzlösung dargestellt. Man erkennt deutlich, daß die Cluster der Sporen sich auflösen und die Sporen Einkerbungen auf ihrer Oberfläche aufweisen.

Aber nicht nur Mikroorganismen reagieren empfindlich auf Druck. Überraschende Reaktionen zeigten beispielsweise bei unseren Untersuchungen die Eier der schädlichen Mittelmeerfruchtfliege: Sie erleiden keinen Schaden, wenn sie bei ca. 30 °C mit 1000 bar Druck für 20 Minuten behandelt werden. Bei niedrigeren bzw. höheren Temperaturen schlüpfen allerdings schon bei geringeren Drücken keine Larven mehr.

## VITAMINGEHALT IN LEBENSMITTELEN

Wertgebende Lebensmittelinhaltsstoffe, beispielsweise Vitamine, sollten durch die Anwendung von hydrostatischem Hochdruck nicht beeinflusst werden. Wir untersuchten deshalb die Vitamine A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> und C. In der Tat sind die genannten Vitamine bei niedrigen Temperaturen und kurzen Druckeinwirkungszeiten stabil. Lediglich bei höheren Temperaturen (70 °C) und Einwirkungszeiten hoher Drücke bis zu 60 Minuten verringern sich die Gehalte der meisten untersuchten Vitamine um bis zu 50 Prozent. Bemerkenswert ist, daß Vitamin C unter Sauerstoffausschluß selbst unter extremen Druck- und Temperaturbedingungen über längere Zeit stabil bleibt. Der Zusammenhang zwischen Wärmebehandlung und dem Verlust von Vitaminen in Lebensmitteln ist unter normalen Druckverhältnissen gut untersucht; es zeigte sich jetzt, daß unter Druckeinwirkung der Vitaminge-

halt bei gleichen Wärmebedingungen stets etwas niedriger liegt. Das Pro-Vitamin  $\beta$ -Carotin verhält sich in ähnlicher Art und Weise. Aus den Daten kann gefolgert werden, daß bei optimierten Prozeßbedingungen die Hochdruck-Pasteurisierung eine sehr schonende Methode im Hinblick auf die Erhaltung von Vitaminen darstellt.

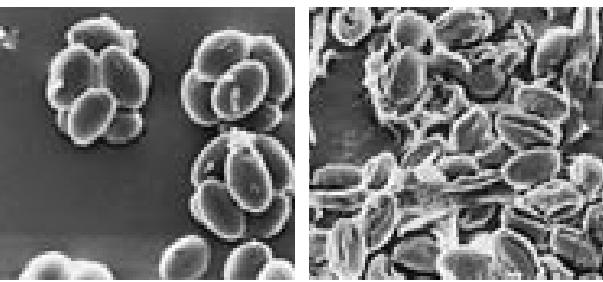
## ANTIMUTAGENE STOFFE

Wie steht es mit der Stabilität anderer gesundheitsrelevanter Faktoren in Lebensmitteln? Wir untersuchten die antimutagene Aktivität von Lebensmittel-Inhaltsstoffen. Diese Stoffe



schützen gegen erbgutschädigende Substanzen, die sich unter bestimmten Bedingungen bei der Zubereitung von Mahlzeiten bilden. Beim Braten von Fleisch können zum Beispiel die sogenannten „Cooked Food Mutagens“ entstehen, die wir als typische Schadstoffe für unsere Tests verwendeten. Am Beispiel Blumenkohlsaft konnte nachgewiesen werden, daß die antimutagene Aktivität des frisch gepreßten, nicht behandelten Saftes durch Druckbehandlung für 10 Minuten bei 6.000 bar und 25 °C vollständig erhalten bleibt. 10minütiges Kochen zerstört diese Aktivität nahezu vollständig. Alle Gemüsesäfte, die wir testeten, wurden durch Wärmebehandlung mehr oder weniger inakti-

**Abb. 1: Eine Auswahl der in Japan erhältlichen durch hydrostatischen Hochdruck behandelten Produkte**



**Abb. 2:** Ascosporen des hitzetoleranten Pilzes *Byssoschlamys nivea*. Links ohne Druckbehandlung, rechts nach einstündiger Behandlung mit 7.000 bar bei 70°C in physiologischer Kochsalzlösung. Vergrößerung 5000fach.

viert, nicht aber durch Druck. Erdbeer- und Grapefruitsaft verlieren weder durch Hitze noch durch Druckbehandlung ihre antimutagene Wirkung. Diese vielversprechenden Ergebnisse eröffnen ein breites Anwendungsfeld dieser neuartigen Form der Haltbarmachung mit dem Ziel, dem Verbraucher gesunde Frucht- und Gemüsesäfte zur Verfügung zu stellen.

### WENIGER UNERWÜNSCHTE OXIDATIONEN

Einen ähnlich positiven Einfluß hat die Druckbehandlung auch auf unerwünschte Oxidationsprozesse. Am Beispiel der ungesättigten Fettsäuren Öl-, Linol- und Linolensäure konnten wir zeigen, daß auch in reiner Sauerstoffatmosphäre der Oxidationsprozeß während der Druckbehandlung unterbunden wird. Das heißt, Sauerstoff ist unter Druck nicht in der Lage, die oxidationsempfindlichen chemischen Verbindungen anzugreifen.

### NUR POSITIVE ASPEKTE?

Dennoch müssen mögliche Umsetzungen von Inhaltsstoffen oder Lebensmittel-Zusatzstoffen sorgfältig in Betracht gezogen werden. So konnten wir zum Beispiel zeigen, daß der synthetische Süßstoff Aspartam, der in einigen gesüßten diätischen Getränken enthalten ist, unter Druck bei geeigneten Bedingungen bereits in wenigen Minuten abgebaut wird und in Produkte zerfällt, die auch bei längerer Lagerung der Säfte entstehen. Der Abbauweg und der Anteil der einzelnen Abbauprodukte hängt dabei stark von dem jeweiligen Lebensmittel ab, dem Aspartam zugesetzt wurde. In unseren Untersuchungen traten die Abbauprodukte in Wasser zum Beispiel in einem anderen Verhältnis auf als in Vollmilch. Dieses Ergebnis macht deutlich, daß neuartige Verfahren in der Lebensmittelproduktion auch auf unerwünschte Effekte hin untersucht werden müssen. Dieser Forschungsbedarf ist unabwendbar, um sichere und gesunde Lebensmittel zu produzieren.

### PROTEINE, ENZYME

Proteine zeigen bei zunehmendem Druck einen Phasenübergang vom nativen in den denaturierten Zustand, das heißt, ihre ursprüngliche Struktur verändert sich. Enzyme, die ja aus Eiweißen bestehen, werden durch eine Druck-Denaturierung inaktiviert (Abb. 3). Die Kenntnis derartiger Zustandsgrenzen ermöglicht es dem Lebensmitteltechnologe, Produkte haltbar zu machen und zusätzlich nach Wunsch gezielt zu denaturieren oder auch nicht. Von besonderem Interesse ist das Denaturierungsverhalten von Proteinen unter Druck bei niedrigen Temperaturen. An der BFE untersuchten wir das Enzym 'Lipoxygenase I' der Sojabohne auf sein Druck/Temperaturverhalten: Es zeigte, wie erwartet, die allgemeine Charakteristik der Protein-Denaturierung. Die Lipoxygenase wird, wenn

sie für 30 Minuten bei 40 °C einem Druck von 6.400 bar ausgesetzt wird, in ihrer Aktivität reduziert – und zwar parallel zur Abnahme des nativen Proteins. In anderen Fällen kann die Enzymaktivität aber auch verstärkt werden oder seine Substratspezifität ändert sich. In jedem frischen Lebensmittel ist eine Vielzahl von Enzymen vorhanden. Die Produktdesigner in der Lebensmittelindustrie stehen also vor der Aufgabe, für jedes Produkt eine Zeit/ Druck/Temperatur-Optimierungsbehandlung zu erarbeiten.

### AUSBLICK

Im Labormaßstab werden an vielen Lebensmitteln Experimente mit hydrostatischem Hochdruck durchgeführt und Veränderungen im Lebensmittel analysiert:

- bei Eiweiß und Eigelb,
- bei Milch und Milchprodukten,
- bei Fisch und Fleisch und ihren Produkten,
- bei Pektin und anderen Biopolymeren, aber auch bei Getreideprodukten.

Durch diese neuartige Pasteurisierungsmethode lassen sich Lebensmittel herstellen, die ihre ursprüngliche Frische bewahrt haben, aber dennoch wie „gekocht“ sind. Deshalb spricht man bei der Hochdruck-Pasteurisierung auch von „kaltem Kochen“. Es können allerdings auch unerwünschte Veränderungen des Nährstoffgehaltes und der Textur auftreten, die tunlichst durch eine Optimierung der Prozeßbedingungen zu vermeiden sind. Bei dem neuen Verfahren stehen die biologische Verfügbarkeit der Nährstoffe, die Verdaulichkeit und die mikrobielle Sicherheit der Lebensmittel im Mittelpunkt des Interesses. Auf innovative Produkte, die mit dieser Methode hergestellt werden, dürfen wir gespannt sein. ■

*Dr. P. Butz und Prof. Dr. B. Tauscher, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Institut für Chemie und Biologie, Engesserstr. 20, 76131 Karlsruhe*

**Abb. 3:** Druck/Temperaturphasen-Diagramm eines Proteins. Unterhalb der Kurve ist das Protein im nativen unveränderten Zustand, oberhalb der Kurve im denaturierten

