

## **Sicherheitsbewertung des Hochdruck-Verfahrens**

*Die DFG-Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln (SKLM) hat sich bereits 1998 mit der Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln beschäftigt und den Beschluss „Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln, insbesondere Fruchtsäften“ verabschiedet. Angesichts der Weiterentwicklung des Verfahrens, der Ausweitung der Produktpalette und neuer Forschungsarbeiten auf dem Gebiet, hat die Arbeitsgruppe „Lebensmitteltechnologie und –sicherheit“<sup>(1)</sup> der SKLM das Verfahren hinsichtlich apparativer, mikrobiologischer, chemischer, toxikologischer, allergologischer und rechtlicher Aspekte neu bewertet. Die SKLM hat zur Sicherheitsbewertung des Hochdruck-Verfahrens am 06. Dezember 2004 folgenden Beschluss gefasst.*

*(gekürzte Darstellung)*

## **Sicherheitsbewertung des Hochdruck-Verfahrens**

### **1 Einführung**

Die Hochdruckbehandlung (HD-Pasteurisierung) von Lebensmitteln ist ein Verfahren zur Haltbarmachung und Modifizierung von Lebensmitteln. Dabei werden Lebensmittel üblicherweise für wenige Sekunden bis zu mehreren Minuten hydrostatischen Drücken über 150 MPa unterworfen. Dieses Verfahren ermöglicht es, bei niedrigen Temperaturen Mikroorganismen abzutöten und Enzyme zu inaktivieren, während wertgebende niedermolekulare Verbindungen, wie Vitamine, Farb- und Aromastoffe, weitgehend unbeeinflusst bleiben.

Die Eignung von hydrostatischem Hochdruck zur Abtötung von Mikroorganismen sowie zur Denaturierung von Proteinen wurde bereits vor etwa hundert Jahren gezeigt [1, 2]. In den letzten Jahrzehnten wurde die Verfahrensentwicklung so weit vorangetrieben [3-6], dass seit 1990 in Japan und seit 1996 in Europa und den Vereinigten Staaten hochdruckbehandelte Lebensmittel auf den Markt gebracht werden.

[...]

## 2 Verfahrenstechnische Grundlagen

Hydrostatischer Druck wirkt in erster Näherung an allen Stellen des Produktes gleich. Die Wirksamkeit des Druckes ist somit unabhängig von der Geometrie des Produktes, sodass auch in stückigen Lebensmittelzubereitungen alle Komponenten eine weitgehend gleichförmige Behandlung erfahren. Die thermische Behandlung von Lebensmitteln bei konventionellen Pasteurisationsprozessen ist hingegen grundsätzlich mit großen Temperaturgradienten verbunden, wobei thermisch bedingte Veränderungen wie Denaturierung, Bräunung oder Filmbildung auftreten können [8].

Die Grundlage des Wirkungsprinzipes für hydrostatischen Hochdruck bildet das Prinzip von Le Chatelier. Reaktionen, Konformationsänderungen oder Phasenübergänge, die mit einer Volumenverminderung einhergehen, laufen unter Druck bevorzugt ab, während solche, die von Volumenzunahme begleitet sind, inhibiert werden.

Der Aufbau des Druckes kann über zwei unterschiedliche verfahrenstechnische Prinzipien realisiert werden. Beim direkten System wird ein hydraulisch angetriebener Kolben direkt in den Druckbehälter hineinbewegt und das Volumen verkleinert. Beim indirekten System wird das Druckübertragungsmedium mit Hilfe einer Druckerhöhungspumpe in den Behandlungsbehälter gepresst. Flüssige Lebensmittel können somit direkt in den Druckbehälter geben werden, während verpackte Lebensmittel über ein druckübertragendes Medium (in der Regel Wasser) behandelt werden.

[...]

## 3 Inverkehrbringen hochdruckbehandelter Lebensmittel

Bevor hochdruckbehandelte Lebensmittel in der Europäischen Union (EU) in den Verkehr gebracht werden können, ist zu prüfen, ob sie zum Geltungsbereich der am 15. Mai 1997 in Kraft getretenen Verordnung (EG) Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten gehören. Als neuartig anzusehen - und nach Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 258/97 genehmigungspflichtig - sind gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97:

*„Lebensmittel und Lebensmittelzutaten, bei deren Herstellung ein nicht übliches Verfahren angewandt worden ist und bei denen dieses Verfahren eine bedeutende Veränderung ihrer Zusammensetzung oder der Struktur der Lebensmittel oder der Lebensmittelzutaten bewirkt hat, was sich auf ihren Nährwert, ihren Stoffwechsel oder auf die Menge unerwünschter Stoffe im Lebensmittel auswirkt.“*

Vor dem Inkrafttreten der Verordnung (EG) Nr. 258/97 wurde in Frankreich hochdruckpasteurisierter Orangensaft in den Verkehr gebracht. Nach Inkrafttreten dieser Verordnung haben

die für den Vollzug der Verordnung zuständigen nationalen Behörden Anträge auf Zulassung bzw. Anfragen zum Rechtstatus folgender hochdruckbehandelter Produkte geprüft: Fruchtzubereitungen (Frankreich), Kochschinken (Spanien), Austern (Großbritannien), Früchte (Deutschland). In allen Fällen wurde festgestellt, dass durch die Hochdruckbehandlung keine bedeutende Veränderungen der Zusammensetzung oder der Struktur der Produkte bewirkt werden, die sich auf Nährwert, Stoffwechsel oder die Menge unerwünschter Stoffe in den Lebensmitteln auswirken (s. Abb. 1).

Abb. 1: Inverkehrbringen hochdruckbehandelter Produkte

In Frankreich wurde bereits vor Inkrafttreten der Verordnung (EG) Nr. 258/97 hochdruckpasteurisierter **Orangensaft** in den Verkehr gebracht.

Im Dezember 1998 wurde nach den Bestimmungen der Verordnung (EG) Nr. 258/97 von der Firma Danone bei der zuständigen Behörde Frankreichs ein Antrag auf Inverkehrbringen von **Fruchtzubereitungen**, die durch Hochdruckbehandlung pasteurisiert wurden, gestellt. Da das Hochdruckverfahren zwar bereits zur Pasteurisierung von Orangensaft, nicht aber von Fruchtzubereitungen angewendet wurde, ging die Antragstellerin somit davon aus, dass es sich bei den die hochdruckpasteurisierten Fruchtzubereitungen um neuartige Lebensmittelzutaten handelt, die entsprechend Artikel 1 Absatz 2 Buchstabe f) in den Anwendungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 258/97 fallen. Mit dem Antrag wurden Untersuchungsergebnisse vorgelegt, anhand derer gezeigt wurde, dass das Hochdruck-Verfahren keine wesentlichen Veränderungen der Zusammensetzung oder Struktur der Fruchtzubereitungen verursacht, die sich auf den Nährwert, Stoffwechsel oder die Menge unerwünschter Stoffe auswirken.

Die für die Antragsprüfung zuständige *Agence française de sécurité sanitaire des aliments* (AFSSA) kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass sich die Hochdruck-behandelten Fruchtzubereitungen, abgesehen von dem in den meisten Fällen höheren Vitamingehalt, im Hinblick auf ihre relevanten Inhaltsstoffe nicht wesentlich von thermisch pasteurisierten Produkten unterscheiden.

Die Entscheidung der Europäischen Kommission über die Zulassung des Inverkehrbringens der im Antrag beschriebenen Fruchtzubereitungen, die mittels Hochdruck pasteurisiert wurden, erfolgte im Mai 2001[10].

Die zuständigen Behörden der EG-Mitgliedsstaaten haben sich im Juli 2001 darauf verständigt, dass künftig die nationalen Behörden anhand entsprechender, vom Hersteller zur Verfügung gestellter Daten über den Rechtstatus hochdruckbehandelter Lebensmittel entscheiden. Gelangt die hierfür zuständige Behörde zu dem Ergebnis, dass das Produkt nicht in den Anwendungsbereich der Verordnung fällt und daher ohne Genehmigung vermarktet werden kann, sollen die Kommission und die übrigen Mitgliedstaaten entsprechend informiert werden.

Die zuständige Behörde Spaniens erklärte im Juli 2001 hochdruckpasteurisierten **Kochschinken** und die britische *Food Standard Agency* im August 2002 hochdruckbehandelte **Austern** als verkehrsfähig.

In Deutschland wurde dem damaligen *Bundesinstitut für Verbraucherschutz und Veterinärmedizin* (BgVV) eine Anfrage zur Prüfung des Rechtsstatus hochdruckkonservierter **Früchte** vorgelegt. Das BgVV gelangte im März 2001 zu der Entscheidung, dass durch die Hochdruckbehandlung keine bedeutenden Veränderungen der Zusammensetzung oder der Struktur der Früchte bewirkt werden, die sich auf Nährwert, Stoffwechsel oder die Menge unerwünschter Stoffe in den Früchten auswirken. Die Europäische Kommission und die EU-Mitgliedsstaaten wurden vom BgVV über das Bewertungsergebnis und die Verkehrsfähigkeit der hochdruckkonservierten Früchte informiert.

## 4 Sicherheitsbewertung

Hinweise zu Art und Umfang der für die Sicherheitsbewertung notwendigen Informationen und Untersuchungen von Lebensmitteln, die mit neuen Verfahren hergestellt wurden, lassen sich den entsprechenden Empfehlungen der Europäischen Kommission zu Anträgen auf Genehmigung des Inverkehrbringens entnehmen [9].

Als erforderlich erachtet werden Informationen zur Spezifikation des behandelten Lebensmittels, zum angewandten Verfahren und dessen Prozessparametern sowie zu den verwendeten Anlagen und Verpackungsmaterialien. Dazu gehört auch eine Beschreibung der Behandlung des Lebensmittels vor und nach der Anwendung des Verfahrens, z.B. in Bezug auf Lagerungsbedingungen. Unter Berücksichtigung aller in der wissenschaftlichen Literatur verfügbarer Informationen sollten die potentiellen Auswirkungen des neuartigen Verfahrens auf die Struktur und Inhaltsstoffe der Lebensmittel im Vergleich zu bisher üblichen Verfahren beschrieben werden. Anhand dessen kann beurteilt werden, ob verfahrensbedingte chemische oder biologische Veränderungen eintreten können, die sich auf die ernährungsrelevanten, toxikologischen und hygienischen Eigenschaften des Lebensmittels auswirken. Insbesondere ist zu belegen, dass eine ausreichende Abtötung gesundheitlich relevanter Mikroorganismen erzielt wird.

[...]

### 4.1 Mikrobiologische Aspekte

**Vegetative Zellen** lebensmittelrelevanter Bakterien werden durch hydrostatischen Druck im Bereich von 150 - 800 MPa abgetötet. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen auch mit pathogenen Mikroorganismen. Die Inaktivierungskinetik für Mikroorganismen unter Druck zeigt eine stetig fallende Kurve, die wie bei thermischen Prozessen in einem "Sockel" (Tailing) enden kann. Ob es sich hierbei um eine druckresistente Subpopulation handelt ist bisher ungeklärt. Das Überleben vegetativer Zellen während und nach einer Hochdruckbehandlung hängt stark von der Lebensmittelmatrix ab [10-15].

[...]

**Bakterielle Endosporen** weisen im Vergleich zu vegetativen Zellen eine wesentlich höhere Resistenz gegenüber Hochdruck auf. Sporen von *Clostridium botulinum* und *Bacillus species* sind Leitkeime für die Sicherheit bzw. den Verderb schwach saurer (hitzebehandelter) Vollkonserven, die bei Raumtemperatur Drücke über 1000 MPa tolerieren. Durch kombinierte Druck-/Temperaturanwendung ist jedoch eine Inaktivierung solcher lebensmittelrelevanter bakterieller Endosporen möglich. Grundsätzlich wird die notwendige Inaktivierungstemperatur

und/oder -zeit durch die Kombination mit Druck gesenkt [11, 18-21]. Bakterielle Endosporen können jedoch bei bestimmten Druck-/Temperatur Kombinationen durch Hochdruckbehandlung gegenüber einer thermischen Inaktivierung stabilisiert werden [22]. Dies ist insbesondere bei der Entwicklung schneller Verfahren mit sehr hohen Drücken und Temperaturen zu berücksichtigen. Eine Extrapolation aufgrund der Daten mit konventionellen Systemen ist nicht möglich.

Die Drucktoleranz bakterieller Endosporen variiert zwischen Spezies und Stämmen, innerhalb eines Stammes auch in Abhängigkeit von den Sporulationsbedingungen. Von den untersuchten Endosporenbildnern wiesen Sporen von *Bacillus amyloliquefaciens* die höchste Druckresistenz auf. In einer Karottenbrei-Matrix wurden diese Sporen bei 800 MPa und 80°C innerhalb von 50 min. um 5 Zehnerpotenzen inaktiviert. Die Endosporen von *C. botulinum* Typ A, B und F wurden bei 600 oder 800 MPa und Temperaturen über 80°C in wenigen Minuten um mehr als 5 Zehnerpotenzen inaktiviert [23].

**Viren** können ebenfalls grundsätzlich durch Hochdruck inaktiviert werden. Die Vielfalt an Virusarten und deren Aufbau ist jedoch so groß, dass eine generelle Aussage derzeit nicht möglich ist. Eine Erhöhung des Risikos gegenüber unbehandelten Lebensmitteln ist gegenwärtig nicht erkennbar.

**Fazit:** Hochdruckbehandelte Lebensmittel können hinsichtlich mikrobiologischer Sicherheit nach etablierten Kriterien bewertet werden. Hierbei ist mit realistischen Keimzahlen eine Fall-zu-Fall Bewertung notwendig. Ein spezifisch mikrobiologisches Gesundheitsrisiko der Hochdruckbehandlung ist nach dem Stand der Wissenschaft nicht erkennbar. Die Inaktivierung in einem Rohstoff vorhandener unerwünschter Mikroorganismen durch Hochdruckbehandlung ist jedoch im Einzelfall zu untersuchen. Eine globale Bewertung ist ebenso wenig möglich, wie ein Rückschluss aus der Erfahrung des Verhaltens von Stoffen und Mikroorganismen in thermischen Prozessen. Für die Entwicklung und Bewertung von Prozessen ist deswegen die Charakterisierung von (hygienerlevanten) Leitkeimen notwendig.

## 4.2 Chemische Aspekte

Prinzipiell können solche chemische Reaktionen unter Druck beschleunigt werden, deren Reaktions- und Aktivierungsvolumina negativ sind. Hierzu gehört u.a. die Bildung kovalenter Bindungen z.B. Zykoadditionen und von Ionen z.B. durch Dissoziation. Unter realistischen Produktionsbedingungen wurden Zykoadditionen geeigneter Reaktionspartner in der Lebensmittelmatrix bisher jedoch nicht beobachtet [24, 25]. Homolytische Bindungsspaltungen (Radikalbildung) werden andererseits durch Druck unterdrückt. Wechselwirkungen zwischen den gelösten Spezies mit dem Lösungsmittel beeinflussen die Partialvolumina und damit die Reaktivität [6, 26,27].

Wasserlösliche **Vitamine** wie Vitamin C, Vitamine B1, B2 und B6 und Folsäure [28] scheinen durch die Druckbehandlung unter realistischen Produktionsbedingungen nicht oder nur wenig beeinflusst zu werden. In Modellsystemen sind eher Veränderungen zu bemerken als in der Lebensmittelmatrix, die einen schützenden Effekt ausübt. Dies gilt auch für fettlösliche Vitamine wie Vitamin A, Vitamin E [29] und Vitamin K sowie Provitamin A [30, 31]. **Chlorophyll** ist bei niedrigen Temperaturen gegen Druck stabil [32-34].

[...]

Über die **Oxidation der Fette** im Lebensmittel durch Hochdruckbehandlung finden sich widersprüchliche Aussagen, die oftmals nicht deutlich gegen die Veränderungen während der Lagerung abgegrenzt sind [36, 37]. Enzymatische Restaktivitäten, Fettsäurespektrum, Wassergehalte, pH-Wert, Oxidationsgrad vor der Druckbehandlung, Pro- und Antioxidantien haben einen entscheidenden Einfluss auf die druckbedingte Veränderung der Lipide und den Oxidationsverlauf während der Lagerung. Strukturveränderungen der Zellmembran bis hin zur Zerstörung des Zellverbundes und Dekompartimentierungen beeinflussen ebenfalls die Oxidation der Lipide.

**Kohlenhydrate** zeigen sich weitgehend unempfindlich gegen Druck. Methylglykoside können unter Druck in das Aglykon und MeOH hydrolysiert werden (Aktivierungsvolumen leicht negativ), Disaccharide erweisen sich als stabil (Aktivierungsvolumen leicht positiv). Bei Drücken über 1.000 MPa kann es zu Solvolysereaktionen der glykosidischen Bindung kommen [6]. Jedoch können Polysaccharide hinsichtlich Wasserbindungs- und Gelbildungseigenschaften beeinflusst [38] werden. Die Veränderungen betreffen jedoch die funktionalen Eigenschaften und beinhalten nicht strukturelle Änderungen.

Die Primärstruktur der **Proteine** wird durch Druck nicht beeinflusst. Druck beeinflusst hydrophobe Wechselwirkungen und damit die Quartärstruktur, die Tertiärstruktur durch reversibles Entfalten und die Sekundärstruktur durch irreversibles Entfalten des Proteins. Druckinduzierte Gele haben andere rheologische Eigenschaften als hitzeinduzierte. Die Protease-Abbaubarkeit druckmodifizierter Proteine ist erhöht, was möglicherweise auf eine höhere Wasserbindungskapazität hindeutet.

Von besonderem Interesse ist das Verhalten von Prion-Proteinen. So führte Hochdruckbehandlung von (Hamster und Rinder) Prion-Proteinen zu einer Verringerung der Proteolyse-resistenz der Prionen [42, 43].

Bei **Enzymen** kann durch Druckbehandlung sowohl die Aktivität als auch die Substratspezifität beeinflusst werden. Auch eine partielle Inaktivierung ist möglich, Reaktivierung der Enzymaktivität, z.B. während der Lagerung, kann u.U. zur Bildung unerwünschter Stoffe führen. In einigen Fällen ist auch eine Aktivitätssteigerung von Enzymen unter Druck zu beobachten, was während der Druckaufbauphase zu Fehlparfumen führen

könnte. Zur Substratspezifität von Enzymen im Lebensmittelbereich sind nur wenige Daten verfügbar. So wird z.B. Peroxidase bereits bei niedrigen Drücken inaktiviert, wenn ein bestimmtes Substrat vorhanden ist, bei anderen Substraten dagegen nicht [45, 46]. Bildung toxischer Verbindungen aufgrund veränderter Substratspezifität unter Druck wurde bisher nicht beobachtet.

Studien haben gezeigt, dass das **antioxidative und antimutagene Potential** von Obst- und Gemüsesäften nach Hochdruckbehandlung erhalten bleibt, während es durch eine Hitzebehandlung oft verloren geht [47].

Bei der Anwendung von Hochdruck auf Lebensmittel muss untersucht werden, ob unter den gewählten Prozessbedingungen Peptide entstehen, die bei oraler Aufnahme biologisch aktiv sein könnten. Generell sind Peptide mit Pyroglutamat (2-Oxoprolin) am N-Terminus resistenter gegen den Abbau durch Peptidasen. Solche Substanzen sind u. U. biologisch aktiv. Die Umwandlung von Glutamin in Pyroglutamat (2-Oxoprolin) wird unter Druck, aber auch durch Temperatur, begünstigt [39-41].

[...]

**Fazit:** Hochdruckbehandlung kann in Lebensmitteln chemische Veränderungen erzeugen, wobei Reaktionen und Konformationsänderungen, die mit einer Volumenverminderung einhergehen, bevorzugt ablaufen. Bisher untersuchte Vitamine, Farb- und Aromastoffe bleiben im Vergleich zu konventionellen thermischen Prozessen weitgehend unbeeinflusst.

### 4.3 Toxikologie

Das notwendige Ausmaß an toxikologischen Untersuchungen richtet sich nach der Art der durch die Hochdruckbehandlung induzierten Veränderungen [7, 9].

Wird durch angemessene analytische Studien belegt, dass die Hochdruckbehandlung keine oder keine wesentlichen Veränderungen der chemischen Zusammensetzung und/oder Struktur der Lebensmittelinhaltsstoffe bewirkt, kann das Erzeugnis als substantiell äquivalent zu dem entsprechenden konventionell behandelten Vergleichsprodukt bewertet und damit ohne weitere Untersuchungen akzeptiert werden. Dies ist bei den bisher zugelassenen Produkten der Fall (s. Anhang). Ergeben sich allerdings Hinweise, dass solche Veränderungen auftreten, ist eine gesundheitliche Bewertung erforderlich. Die dazu notwendigen toxikologischen Studien sind von der Art der durch die Hochdruckbehandlung induzierten Veränderungen sowie dem erwarteten Verzehr des Erzeugnisses und der daraus resultierenden Exposition des Verbrauchers gegenüber den betroffenen Inhaltsstoffen abhängig.

Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass Bestandteile aus der Verpackung nicht in gesundheitlich relevanten Konzentrationen auf das Lebensmittel übertreten. Die jeweiligen Migrationsgrenzwerte für Bestandteile von Verpackungsmaterialien sind einzuhalten.

Aus den bisher durchgeführten Untersuchungen hochdruckbehandelter Lebensmittel haben sich keine Hinweise auf ein erhöhtes toxikologisches Potential im Vergleich zu nativen oder zu thermisch konservierten Lebensmitteln ergeben. In einem Lebensmittel vorhandene Toxine werden durch Hochdruck möglicherweise nicht gleichermaßen entfernt wie in thermischen Prozessen.

#### **4.4 Allergenität**

Die Bewertung des Einflusses der Hochdruckbehandlung auf die Allergenität von Lebensmitteln sollte in Bezug zu traditionellen lebensmitteltechnologischen Verfahren, insbesondere der Erhitzung, erfolgen. Die Allergenität kann nach technologischer Behandlung verändert sein (Bildung von Neoallergenen oder –epitopen).

Viele technologische insbesondere thermische Verfahren führen zu einer partiellen Inaktivierung des allergenen Potentials [48, 49]. Bisher durchgeführte Studien zum Hochdruck weisen ebenfalls in diese Richtung. Obwohl die thermische Behandlung von Lebensmitteln zu drastischen strukturellen und chemischen Veränderungen von Lebensmittelinhaltsstoffen führt, gibt es nur sehr wenige Hinweise auf eine Erhöhung der Allergenität durch Prozessierung von Lebensmitteln [50-54]. Eine Erhöhung der Allergenität durch Hochdruckbehandlung ist daher als wenig wahrscheinlich anzusehen, kann aber aufgrund der wenigen bisher durchgeführten Studien auch nicht völlig ausgeschlossen werden

Zum Einfluss der Hochdruckbehandlung auf die Allergenität liegen bisher nur sehr wenige Studien vor. Jankiewicz et al. fanden eine im Vergleich zu nativem Sellerie verminderte IgE-Reaktivität eines Extraktes aus Sellerieknollen, die einer Hochdruckbehandlung bei 600 MPa unterzogen worden waren [49]. Insbesondere die IgE-Bindungskapazität des Hauptallergens war vermindert. Passiv mit selleriespezifischem IgE sensibilisierte RBL 2H3 Zellen (rat basophil leukemia cells) zeigten nach Stimulation durch Extrakt aus hochdruckbehandeltem Sellerie eine um mehr als 50 % verminderte Ausschüttung des Mediators  $\beta$ -Hexosaminidase. Das allergene Potential des hochdruckbehandelten Lebensmittels lag damit zwischen jenem von rohem und gekochtem Sellerie. Einen anderen Mechanismus, der eine Abschwächung einer allergischen Reaktion auf ein Nahrungsmittel nach einer Hochdruckbehandlung erklären könnte, beschrieben Kato et al. [55]. Es wurde gezeigt, dass die Hauptallergene von Reis nach einer Hochdruckbehandlung mit 500 MPa in flüssigem Medium aus den Körnern

freigesetzt werden. Derzeit wird versucht, diese Beobachtung für die Herstellung eines hypoallergenen Reises zu nutzen.

[...]

Versuche am rekombinanten Hauptallergen des Apfels zeigten mittels CD-Spektroskopie Änderungen in der Sekundärstruktur [56]. Dabei wurde eine Abnahme von  $\alpha$ -helicalen Bereichen und eine Zunahme von  $\beta$ -Faltblattstrukturen festgestellt. Im Provokationstest wurden hochdruckbehandelte Äpfel von 5 Apfelallergikern ohne Symptome vertragen. Die Hauptallergene aus Apfel und Sellerie erwiesen sich im Gegensatz zu anderen Allergenen, z.B. aus der Erdnuss, auch bei konventionellen Verarbeitungsprozessen als labil, so dass aus diesen Experimenten keine generellen Rückschlüsse gezogen werden können.

**Fazit:** Aus allergologischer Sicht sind die durch Hochdruck induzierten Veränderungen in Lebensmitteln im Vergleich zu thermischen Behandlungsverfahren als relativ gering zu bewerten. Bisher liegen keine Hinweise darauf vor, dass das allergene Potential von Lebensmitteln durch den Einsatz der Hochdruckbehandlung erhöht werden kann. Die bisher vorliegenden Studien lassen es hingegen möglich erscheinen, die Hochdruckbehandlung zur gezielten Verminderung der Allergenität bestimmter Proteinfamilien zu nutzen.

#### **4.5 Anforderungen an die Verpackung und Lagerung**

Verpackte Lebensmittel werden über ein druckübertragendes Medium (in der Regel Wasser) behandelt, woraus sich besondere Ansprüche an die Verpackung ergeben. Verpackungsmaterialien erfahren während der Hochdruckbehandlung eine mechanische Beanspruchung. Bei einem Druck von beispielsweise 600 MPa (22°C) vermindert sich das Volumen von Wasser, bzw. flüssigen Lebensmitteln um etwa 15 %. Hochdruckgeeignete Verpackungen müssen die durch die Volumenänderung hervorgerufene elastische Verformung unbeschadet überstehen [57, 58]. Verpackungsmaterialien müssen auch nach der Hochdruckbehandlung Barriereeigenschaften gegenüber Gasen (Sauerstoff, Wasserdampf, Kohlendioxid) aufweisen, die notwendig sind, um Produktqualität und Haltbarkeit zu gewährleisten [59, 60].

[...]

**Fazit:** Aufgrund der experimentellen Resultate wird generell akzeptiert, dass Kunststofffolien und andere Verpackungsmaterialien für Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln verwendet werden. Die Eignung der Verpackung muss von Fall zu Fall geprüft werden, um sicher zu stellen, dass die Qualität des Lebensmittels während der Lagerzeit erhalten bleibt.

## 5 Forschungsbedarf

### 5.1 Mikroorganismen

Eine breite Datenbasis über das Verhalten **vegetativer Zellen** unter Hochdruck zeigt, dass Risiken durch Verderbserreger oder pathogene Bakterien grundsätzlich ebenso beherrschbar sind wie durch thermische Verfahren. Die gezielte Nutzung synergistischer oder antagonistischer Wechselwirkungen einer Hochdruckbehandlung mit der Lebensmittelmatrix erfordert vertieften Einblick in die Mechanismen der druckinduzierten Abtötung von Bakterien. Die Einbeziehung mikrobieller Sub-Populationen, insbesondere innerhalb pathogener Bakterienstämme ist ebenso notwendig wie die Betrachtung eukaryontischer Mikroorganismen und deren Sporen, für die es nur wenige Untersuchungen gibt.

Die Hitzeresistenz von **Endosporen** korreliert nicht mit der Druckresistenz. Für die Bewertung von Hochdruckprozessen müssen deswegen unter Einbeziehung hygienerelevanter Mikroorganismen und Sporen Leitkeime für die Druckinaktivierung bakterieller Endosporen identifiziert werden. Besonderes Interesse verdienen hierbei die drucktolerante Fraktion an Mikroorganismen, das Verhalten von Mikroorganismen und Sporen in Prozessen mit hoher Kompressionsrate und die potenzielle Stabilisierung bakterieller Endosporen bei kombinierten Druck-/Temperaturverfahren. Hinsichtlich des Verhaltens mikrobieller Toxine in thermischen Verfahren liegen Erfahrungen vor. Diese erlauben aber keine Extrapolation auf deren Verhalten in Hochdruckbehandlungen. Deshalb sind Daten zur Inaktivierung bakterieller Toxine zu erarbeiten.

Ebenso liegen keine Untersuchungen zur Inaktivierung bzw. Infektiosität lebensmittelübertragbarer **Viren** nach Hochdruckbehandlung vor.

### 5.2 Chemische Aspekte

Bei der Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln ist auf bestimmte Reaktionen von Lebensmittelinhaltsstoffen zu achten, die zu chemischen Veränderungen führen können. Dies gilt beispielsweise für folgende Reaktionstypen:

*Dissoziation* organischer Säuren und Amine, Reversibilität und Reaktivität der dissoziierten Spezies; *Zyklisierungsreaktionen*: Reaktionen chinoider Systeme mit Dienen (Diels-Alder) sowie 2+2 Zykladditionen; Bildung von Ammonium, Sulfonium und Phosphonium-Salzen, Reversibilität und Reaktivität der unter Druck gebildeten Ionen; *Hydrolysereaktionen* von Ethern, Estern, Acetalen und Ketalen. Ob diese Reaktionen in Lebensmitteln eine Rolle spielen, muss geklärt werden.

Die mögliche Bildung bioaktiver Peptide bei der Anwendung von Hochdruck auf proteinreiche Lebensmittel muss untersucht werden. Für die bereits gezeigte Umwandlung von Glutamin in 2-Oxoprolin bzw. von Glutamat in Pyroglutamat am N-Terminus von Peptiden ist auch der Einfluss verschiedener benachbarter Aminosäuren auf die Reaktionsgeschwindigkeit zu erfassen. Eventuell werden weitere Untersuchungen, z.B. zur Resorption solcher modifizierter Peptide aus dem Gastrointestinaltrakt und zur biologischen Wirkung erforderlich.

Die Reaktionen bestimmter Aminosäuren in Peptiden und Proteinen zu Succinimid-Strukturelementen sind nicht-enzymatische Zyklisierungsreaktionen. Eine Ringöffnung führt zur Bildung möglicherweise unerwünschter Derivate. Die Deamidierungsreaktion ist eine bekannte Modifikation von Peptiden und Proteinen. Sie ist in Abhängigkeit der Prozessparameter zu untersuchen.

Es gibt zahlreiche zyklische Dipeptide z.B. auch mit Diketopiperazinstruktur, die bioaktiv wirksame Substanzen darstellen. Die Druckabhängigkeit der Zyklisierung von Di- und Oligopeptiden mit modifiziertem C-Terminus ist zu untersuchen.

Die Beeinflussung der Konformation von Proteinen durch Hochdruck in entsprechenden Systemen sollte detailliert untersucht werden. Von besonderem Interesse sind durch fehlgefaltete Proteinaggregate assoziierte Protein-Fibrillen aus  $\beta$ -Faltblatt-Stapeln die bei bestimmten Krankheiten wie TSE-Erkrankungen auftreten. Trotz der bekannten Druckstabilität der  $\beta$ -Faltblatt-Strukturen verringert bereits eine Druckerhöhung von mehreren hundert MPa die Proteolyse-resistenz infektiöser Hamster-Prionproteine (Hirnhomogenat).

Widersprüchliche Aussagen über Oxidation von Fetten im Lebensmittel durch Hochdruckbehandlung sind zu klären.

### **5.3 Allergenität**

Die Auswirkungen der Hochdruckbehandlung sollten nicht ausschließlich *in vitro*, sondern auch *in vivo* durch Hauttests und Provokationsversuche überprüft werden. Exemplarische Studien zum Einfluss der Hochdruckbehandlung auf die Allergenität von Lebensmittelproteinen sollten sich auf Lebensmittel konzentrieren, bei denen ein allergenes Potential bekannt ist und die für den Einsatz der Hochdrucktechnologie geeignet sind. In den klinischen Teil neu zu initiierender Studien sollten nur Patienten einbezogen werden, bei denen das Bestehen einer Lebensmittelallergie durch einen möglichst doppelblind durchgeführten Provokationsversuch bestätigt ist. Lebensmittel sollten danach ausgewählt werden, dass entsprechende Allergene in reiner Form zur Verfügung stehen. Dies eröffnet die Möglichkeit struktureller Untersuchungen. Außerdem können Interaktionen mit Komponenten aus der Lebensmittelmatrix unter kontrollierten Bedingungen im Modell untersucht werden. Studien an

Patienten mit Lebensmittelallergien können naturgemäß nur die Auswirkungen der Hochdruckbehandlung nach bereits erfolgter Sensibilisierung erfassen. Untersuchungen zu möglichen Veränderungen des Sensibilisierung-Potentials sollten in ausgewählten Tierspezies, bevorzugt in validierten Mausmodellen, sowie in Zellkultursystemen erfolgen.

#### **5.4 Verpackung**

In Bezug auf Druckeffekte auf Verpackungsbestandteile ist beispielsweise zu untersuchen, ob sich unter Druck die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Polymere so ändern, dass eine beschleunigte Diffusion von Weichmachern wie z. B. Phthalaten resultiert. Auch fehlen Untersuchungen zum Verhalten von Restmonomeren und flüchtigen organischen Stoffen unter Hochdruck. Ebenso ist produktspezifisch auf mögliche sensorische Veränderungen zu achten.

#### **5.5 Verfahrenstechnischer Forschungsbedarf**

[...]

Sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Auswahl der Werkstoffe ist auf die besonderen Vorgaben für Anlagen zur Behandlung von Lebensmitteln zu achten. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist die Konstruktion von Druckbehältern und Kompressionsaggregaten auch für Drücke größer 1000 MPa von besonderem Interesse, da eine Verkürzung der Prozesszeiten bzw. eine Optimierung des Verfahrenserfolges erreicht werden kann. Das druckübertragende Medium hat im Zusammenspiel mit dem Kompressionsaggregat, dem Druckbehälter sowie der Verrohrung entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit und Gleichförmigkeit des Druckaufbaus.

### **6 Schlussbemerkung**

Bisherige Untersuchungen an hochdruckbehandelten Lebensmitteln haben keine Hinweise auf mikrobielle, toxikologische oder allergene Risiken als Folge einer Hochdruckbehandlung ergeben. Jedoch sind diese an einigen wenigen bereits auf dem Markt befindlichen Produkten gewonnenen Erkenntnisse für eine generelle Bewertung noch nicht ausreichend. Derzeit ist bei Einbezug neuer Produktkategorien daher immer eine Einzelfallprüfung der hochdruckbehandelten Lebensmittel erforderlich. Langfristig wünschenswert ist die Erarbeitung Produkt- bzw. Prozess-spezifischer Prüfparameter, um künftig die Sicherheitsbewertung hochdruckbehandelter Lebensmittel nach anerkannten Standardkriterien durchführen zu können.

## 7 Literatur

- [1] Hite, B.: The effects of pressure on the preservation of milk. West Virginia Univ. Agric. Exp. Stn. Bull. 58, 15-35 (1899).
- [2] Bridgman, P.W.: The coagulation of albumen by pressure. J. Biol. Chem. 19, 511-512 (1914)
- [3] Hendrickx, M.E.G. and Knorr, D., Co-eds. Ludikhuyze, L., Van Loey, A., Heinz, V., "Ultra High Pressure Treatments of Foods" Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York (2002).
- [4] Palou, E., Lopet-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: High pressure treatment in food preservation. M.S. Rahman (ed) Handbook of food preservation. Marcel Dekker, New York (1999).
- [5] Cheftel, J.C. and Culioli, J.: Review: High pressure, microbial inactivation and food preservation. Food Sci. Technol. Internat1, 75-90 (1995).
- [6] Tauscher, B.: Pasteurization of food by hydrostatic high pressure: chemical aspects. Z. Lebensmitt. Untersuch. Forsch. 200, 3-13 (1995).
- [7] Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel foods and novel food ingredients, Official Journal of the European Communities No L 43: 1-7, 14.2.1997
- [8] Pfister, M. K-H; Dehne, L.I. „High Pressure Processing – Ein Überblick über chemische Veränderungen in Lebensmitteln“ Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 97. Jahrgang, Heft 7 (2001).
- [9] Commission recommendation of 29 July 1997 concerning the scientific aspects and the presentation of information necessary to support applications for the placing on the market of novel foods and novel food ingredients and the preparation of initial assessment reports under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council (97/618/EC), Official Journal of the European Communities No L 253: 1-36, 16.9.1997
- [10] Garcia-Graells, C, Hauben, KJA, Michiels, CS,: High pressure inactivation and sublethal injury of pressure-resistant *Escherichia coli* mutants in fruit juices, Appl. Environ. Microbiol., 64:1566-1568 (1998).
- [11] San Martin, MF, Barbosa-Cánovas, GV, Swanson, BG,: Food processing by high hydrostatic pressure, Crit, Rev, Food Sci Nutr. 42:627-645 (2002).
- [12] Smelt, JPPM, Hellemons, JC, Wouters, PC, van Gerwen, SJC: Physiological and mathematical aspects in setting criteria for decontamination of foods by physical means, Int. J. Food Microbiol., 78:57-77,(2002).
- [13] Ulmer, HM, Gänzle, MG, Vogel, RF,: Effects of high pressure on survival and metabolic activity of *Lactobacillus plantarum*, Applied and Environmental Microbiology 66:3966-3973 (2000).
- [14] Ulmer, HM, Herberhold, H, Fahsel, S, Gänzle, MG, Winter, R, Vogel, RF: Effects of pressure induced membrane phase transitions on HorA inactivation in *Lactobacillus plantarum*. Appl. Environ. Microbiol, 68:1088-1095 (2002).
- [15] Karatzas, K.A.G. and Bennik, M.H.J. (2002) Characterization of a *Listeria monocytogenes* Scott A Isolate with High Tolerance towards High Hydrostatic Pressure, Applied and Environmental Microbiology, July 2002, Vol. 8 No 7, p. 3138-3189.
- [16] Molina-Gutierrez, A., Stipp, V., Delgado, A., Gänzle, M.G., Vogel, R.F.: Effect of pH on pressure inactivation and intracellular pH of *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus plantarum*. Appl. Environ. Microbiol, 68:4399-4406 (2002).
- [17] Wouters, PC, Glaesker, E, Smelt, JPPM,: Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum*. Appl. Environ. Microbiol., 64 :509-514 (1998).
- [18] Heinz, V, Knorr, D, , High pressure inactivation kinetics of *Bacillus subtilis* cells by a three-state-model considering distributed resistance mechanisms, Food Biotechnol., 10:149-161 (1996).

- [19] Margosch, D, Ehrmann, MA, Gänzle, MG, Vogel, RF, 2003, Rolle der Dipicolinsäure bei der druckinduzierten Inaktivierung bakterieller Endosporen. Poster, vorgestellt bei dem 5. Fachsymposium Lebensmittelmikrobiologie der VAAM und DGHM in Seeon, Mai (2003).
- [20] Reddy, NR, Solomon, HM, Fingerhut, GA, Rhodenhamel, EJ, Balasubramaniam, VM, Palaniappan, S.: Inactivation of *Clostridium botulinum* type E spores by high pressure processing, *J. Food Safety*, 19:277-288 (1999).
- [21] Wuytack, EY, Boven, S, Michiels, CW,: Comparative study of pressure-induced germination of *Bacillus subtilis* spores at low and high pressures, *Appl. Environ. Microbiol.*, 64:3220-3224 (1998).
- [22] Margosch, D. Behaviour of bacterial endospores and toxins as safety determinants in low acid pressurized food. Doctoral thesis 2005, TU München, Germany.
- [23] Vogel, RF; persönliche Mitteilung (2003).
- [24] Gruppe, C., Marx, H., Kübel, J., Ludwig, H. and Tauscher, B.: Cyclization reactions of food components to hydrostatic high pressure. In: High pressure research in the bioscience and biotechnology, K. Heremans (ed.), Leuven University press, Leuven, Belgium, 1997, pp 339-342
- [25] Kübel, J, Ludwig, H. and Tauscher, B.: Diels-Alder reactions of food relevant compounds under high pressure: 2,3-dimethoxy-5-methyl-p-benzoquinone and myrcene. In: High pressure food science, bioscience and chemistry, N.S. Isaacs (ed), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom 1998, pp 271-276
- [26] Butz, P. and Tauscher, B.: Food chemistry under high hydrostatic pressure. In: High pressure food science, bioscience and chemistry, N. S. Isaacs 8ed), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom 1998, pp 133-144
- [27] Butz, P and Tauscher, B.: Emerging technologies: chemical aspects. *Food Res. Int.* 35, 279-284 (2002)
- [28] Serfert, Y.: Diplomarbeit, FH Bernburg 2002
- [29] Ungerer, H.: Diplomarbeit, Universität Karlsruhe 2003
- [30] Fernandez Garcia, A., Butz, P., Bognar, A and Tauscher, B.: Antioxidative capacity, nutrient content and sensory quality of orange juice and an orange-lemon-carrot juice product after high pressure treatment and storage in different packaging. *Eur. Food Res. Technol.* 213, 290-296 (2001)
- [31] Sanchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B and Cano M.P.: Vitamin C, provitamin A carotinoids, and other carotinoids in high pressurised orange juice during refrigerated storage. *J. Agric. Food Chem.* 51, 647-653 (2003)
- [32] Tauscher, B.: Effect of high pressure treatment to nutritive substances and natural pigments. In: Fresh novel foods by high pressure, K. Autio (ed), VTT Symposium 186, Technical Research Center of Finland, ESPOO 1998, pp 83-95
- [33] May, T. and Tauscher, B.: Influence of pressure and temperature on chlorophyll a in alcoholic and aqueous solutions. In: Process optimization and minimal processing of foods, J.C. Olivera and F.A.R. Olivera (eds), Copernicus Programme Proceedings of the Third Main Meeting Vol 4: High Pressure, 1998, pp 57-59
- [34] Van Loey, A., Ooms, V., Weemaes, C., Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L., Denys, S. and Hendrickx, M.: Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in Broccoli (*Brassica oleracea* L. italica) juice: A kinetic study. *J. Agric. Food Chem.* 46, 5289-5294 (1998)
- [35] Butz, P., Fernandez Garcia, A., Fister, H. and Tauscher, B.: Influence of high hydrostatic pressure on Aspartame: Instability at neutral pH. *J. Agric. Food Chem.* 45, 302-303 (1997)
- [36] Angsupanich, K. and Ledward, D.A.: Effects of high pressure on lipid oxidation in fish. In: High pressure food science, bio- science and chemistry, N.S. Isaacs (ed), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom 1998, pp 284-288
- [37] Cheah, P.B. and Ledward, D.A.: High pressure effects on lipid oxidation. *J. Amer. Oil Chemist Soc.* 72, 1059-1063 (1995)
- [38] Pfister, M.K.-H., Butz, P., Heinz, V., Dehne, L.I., Knorr, D. und Tauscher, B.: Der Einfluss der Hochdruckbehandlung auf chemische Veränderungen in Lebensmitteln. Eine Literaturstudie. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin. Berlin (BgVV-Hefte) 3, 2000, pp 17-22

- [39] Butz, P., Fernandez, A., Schneider, T., Stärke, J., Tauscher, B. and Trierweiler, B.: The influence of high pressure on the formation of diketopiperazine and pyroglutamate rings. *High Pressure Research* 22, 697-700 (2002).
- [40] Schneider, T., Butz, P., Ludwig, H. and Tauscher, B.: Pressure induced formation of pyroglutamic acid from glutamine in neutral and alkaline solutions. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 36, 365-367, (2003).
- [41] Fernandez, A., Butz, P., Trierweiler, B., Zöller, H., Stärke, J., Pfaff, E. and Tauscher, B.: Pressure/Temperature Combined Treatments of Precursors Yield Hormone-like Peptides with Pyroglutamate at the N Terminus. *J. Agr. Food Chem.* 2003, 51, 8093-8097
- [42] Fernandez Garcia, A., Heindl, P., Voigt, H., Büttner, M., Wienhold, D., Butz, P., Stärke, J., Tauscher, B. and Pfaff, F.: Reduced Proteinase K resistance and infectivity of prions after pressure treatments at 60°C. *Journal of General Virology* (2004) 85, 261-264.
- [43] Heinz, V. und Kortschack, F. (2002) Method for modifying the protein structure of PrP(sc) in a targeted manner, Patent WO 02/49460.
- [44] Tauscher, B.: persönliche Mitteilung 2004, Bundesforschungsanstalt für Ernährung (BfE), Karlsruhe
- [45] Fernandez Garcia, A., Butz, P. and Tauscher, B.: Mechanism-based irreversible inactivation of horseradish peroxidase at 500 MPa. *Biotechnol. Prog.* 18, 1076-1081 (2002)
- [46] Fernandez Garcia, A., Butz, P., Lindauer R. and Tauscher, B. Enzyme-Substrate Specific Interactions: In Situ Assessments Under High Pressure. S 189-192 In: R. Hayashi (Hrsg.): *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology : Proceedings First International Conference on High Pressure Bioscience and Biotechnology*, ISBN:0444509968 Publisher:Elsevier Science Ltd Published (2002).
- [47] Butz, P., Fernandez Garcia, A., Lindauer, R., Dieterich, S., Bogner, A. and Tauscher, B.: Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *J. Food Eng.* 56, 233 – 236 (2003)
- [48] Besler M, Steinhart H, Paschke A. Stability of food allergens and allergenicity of processed foods. *J Chromatogr B* 2001, 756: 207-228.
- [49] Jankiewicz A, Baltés W, Bögl K W, Dehne L I, Jamin A, Hoffmann A, Haustein D, Vieths S. Influence of food processing on the immunochemical stability of celery allergens. *J Sci Food Agric* 1997, 75: 359-370.
- [50] Malainin K, Lundberg M, Johansson S G O. Anaphylactic reaction caused by neoallergens in heated pecan nut. *Allergy* 1995, 50: 988-991.
- [51] Maleki S J, Chung S, Champagne E T, Raufman J P. Effect of roasting on the allergenic properties of peanut protein. *J Allergy Clin Immunol* 2000, 106: 763-768.
- [52] Chung S J, Butts C L, Maleki S J, Champagne E T. Linking peanut allergenicity to the processes of maturation, curing, and roasting. *J Agric Food Chem* 2003, 51: 4273-4277.
- [53] Bleumink E, Berrens L. Synthetic approaches to the biological activity of  $\beta$ -lactoglobulin in human allergy to cow's milk. *Nature* 1966, 212: 541-543
- [54] Carrillo T, de Castro R, Cuevas M, Caminero J, Cabrera P. Allergy to limpet. *Allergy* 1991, 46: 515-519.
- [55] Kato T., Katayama E., Matsubara S., Omi Y. and Matsuda T.: Release of allergic proteins from rice grains induced by high hydrostatic pressure. *J Agric Food Chem* 2000, 48: 3124-3129.
- [56] Grimm, V.; Scheibenzuber, M.; Rakoski, J.; Behrendt, H.; Blümelhuber, G.; Meyer-Pittroff, R.; Ring, J.: Ultra-high pressure treatment of foods in the prevention of food allergy. In: *Allergy Suppl.* 73, Vol. 57, p102 (2002).
- [57] Mertens, B.: „Packaging Aspects of High-Pressure Food Processing Technologie“, *Packaging Technology and Science* Vol 6 31-36 (1993)
- [58] Kohno, M; und Nakagawa, Y: Packaging for high pressure food processing. In: *Pressure-processed Food Research and Development*, ed. By R. Hayashi. Japan, p. 303 (1990).
- [59] Caner, C.; Hernandez, R.J., Pascall, M.A.: “Effect of High-pressure Processing on the Permeance of Selected High-barrier Laminated Films”, *Packag. Technol. Sci*13: 183-195 (2000).

- [60] Ozen, B.F. and Floros, J.D.: Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials. Trends in Food Science and Technology 12, 60-70 (2001)
- [61] Lambert, Y., Demazeau, G., Largeteau, A., Bouvier, J.M., Laborde-Croubit, S. and Cabannes, M.: Packaging for high pressure treatments in the food industry. Pack. Tech. Sci. 13, 63-71 (2000)
- [62] Kübel, J., Ludwig, H., Marx, H. and Tauscher, B.: Diffusion of aroma compounds into packaging films under high pressure. Pack. Tech. Sci. 9, 143-152 (1996)
- [63] Masuda, M., Saito, Y.M., Iwanami, T. and Hirai, Y.: Effects of hydrostatic pressure on packaging materials for food. In: High Pressure and Biotechnology. Balny, C., Heremans, K. and Masson, P. (eds), Colloque Inserm, John Libbey Eurotext (London) 224, 545-547 (1992)
- [64] Fernandez, A., Butz, P., Bogner, A. and Tauscher, B.: Antioxidative capacity, nutrient content and sensory quality of orange juice and an orange-lemon-carrot juice product after high pressure treatment and storage in different packaging. Eur. Food Res. Technol. 213, 290-296 (2001)
- [65] Commission decision of 23 May 2001 authorising the placing on the market of pasteurised fruit-based preparations produced using high-pressure pasteurisation under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Communities No L 151: 42-43, 7.6.2001

---

Der Beschluss kann über das wissenschaftliche Sekretariat im Original-Wortlaut bezogen werden.

Scientific Office  
DFG-Senatskommission  
zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln  
SKLM  
Universität Kaiserslautern  
Erwin-Schrödinger-Straße 52  
D-67663 Kaiserslautern

sklm@rhrk.uni-kl.de

---

<sup>1)</sup> Der Beschluss "Sicherheitsbewertung des Hochdruckverfahrens" wurde von Mitgliedern und Gästen der Arbeitsgruppe „Lebensmitteltechnologie und –sicherheit“ der DFG-Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln (SKLM) erarbeitet: Prof. D. Knorr (TU Berlin), Prof. H.-J. Altmann (BfR Berlin), Dr. L. Dehne (BfR Berlin), Dr. V. Heinz (TU Berlin), Prof. G. Eisenbrand (Uni Kaiserslautern), Prof. K.-H. Engel (TU München), Prof. Dr. R. F. Vogel (TU München), Prof. Dr. A.G.J. Voragen (Wageningen), Prof. B. Tauscher (BFEL, Karlsruhe), Prof. W. P. Hammes (Uni Hohenheim), Dr. M. Schauzu (BfR Berlin), Prof. St. Vieths (Paul-Ehrlich Institut, Langen).