

## Aspekte der Anwendung der Hochdruckbehandlung bei Fleischerzeugnissen

I. DEDERER und R. LAUTENSCHLÄGER

### Zusammenfassung

Die Möglichkeiten des Einsatzes der Hochdruckbehandlung (HDB) von Fleischerzeugnissen sowie die hochdruckinduzierten Veränderungen der mikrobiologischen, chemisch-physikalischen und sensorischen Parameter bei Fleischerzeugnissen werden anhand Ergebnissen der am MRI durchgeführten Untersuchungen und anhand von Literaturstudien diskutiert. Die HDB ist angesichts der dargestellten Resultate ein geeignetes Verfahren zur Haltbarmachung von ausgewählten Fleischerzeugnissen, da dieses Verfahren prinzipiell eine Keimreduzierung herbeiführt. Es ist festzuhalten, dass die HDB allein jedoch nicht zu den gewünschten Verbesserungen hinsichtlich der sensorischen und mikrobiologischen Haltbarkeit führt. Unter Berücksichtigung des Produktstatus sowie durch sinnvolle Vorbehandlungen und Rezepturen kann das Qualitätsdefizit bei Fleischerzeugnissen bei hohen Drücken und Behandlungstemperaturen kompensiert werden. Durch die Etablierung zusätzlicher Hürden im Sinne des Hürdenkonzepts ist eine mikrobiologische Stabilisierung bei relativ niedrigen Drücken denkbar.

---

<b>Schlüsselwörter</b>	Hochdruckbehandlung – Fleischerzeugnisse – Haltbarmachung – hochdruckinduzierte Veränderungen – Inaktivierung von Mikroorganismen – Inaktivierung der Sporen – chemisch-physikalische Parameter – sensorische Qualität
------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

### Einleitung

Die Anwendung hoher hydrostatischer Drücke als neues Verfahren der Lebensmittelbehandlung hat sich innerhalb des letzten Jahrzehnts in einigen Bereichen der Lebensmittelproduktion mehr und mehr durchgesetzt und birgt vor dem derzeitigen Stand der Technik ein großes innovatives Potenzial. Einerseits lassen sich völlig neuartige Produkte und Verbindungen durch den Einsatz von Hochdrucktechnik herstellen, andererseits bietet diese Technologie die Möglichkeit, bei in der Regel verbesserter Produktqualität oder Produktionsleistung herkömmliche Verfahren zu ersetzen.

Beispielsweise lassen sich Produkte allein durch den Einsatz von moderaten Tem-

peraturen in Kombination mit hohem hydrostatischen Druck durch die sogenannte kalte Pasteurisation haltbar machen. Dieses Verfahren ist durch die relativ niedrigen Prozesstemperaturen wesentlich produktschonender als etablierte Methoden, sodass gerade wertgebende Inhaltsstoffe wie Aromastoffe und Vitamine erhalten und unerwünschte thermische Reaktions- und Abbauprodukte vermieden werden können. Rechtlich geregelt wird die HDB durch die Novel Foods Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 258/97 des europäischen Parlaments und des Rates über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten), die das Inverkehrbringen neuartiger Lebensmittel und nicht übliche lebensmitteltechnologische Verfah-

ren in der EU regelt. Auf dem internationalen Markt gibt es bereits zahlreiche Produkte, die erfolgreich vermarktet werden. Die folgenden Einsatzgebiete geben einen Eindruck von den vielfältigen Möglichkeiten dieses neuen Konservierungsverfahrens: Säfte, Konfitüren, Desserts, Fruchtkonzentrate in Japan, Avocadopürees, Direktsäfte in USA, Milchprodukte in England, Gänseleberpastete, Direktsäfte in Frankreich, Roh- und Kochschinkenprodukte, ready to eat Tapas in Spanien, Geflügelfleischprodukte in Kanada, Rohschinken, Fruchtzubereitungen in Deutschland. Bei den genannten Produkten brachte die Hochdrucktechnologie deutliche Qualitätsvorteile gegenüber der konventionellen Hitzekonservierung.

Die HDB von Lebensmitteln dient folgenden Zielen: Konservierung (Abtötung von Mikroorganismen), Veränderung von Reaktionskinetiken, Proteindenaturierung, Enzyminaktivierung oder -aktivierung, Änderung der Eigenschaften von Polymeren (Kohlenhydraten und Fetten). Die hydrostatischen Drücke, die im Lebensmittelbereich angewandt werden, bewegen sich im Bereich zwischen 100 und 1000 MPa. Die Druckgefäßgrößen kommerzieller Anlagen liegen heute zwischen 100 und 500 Litern. Die Behandlung erfolgt meist diskontinuierlich bzw. quasi-kontinuierlich. Wegen der augenblicklich noch hohen Gerätekosten beschränkt sich die Anwendung auf qualitativ hochwertige Produkte. Es ist allerdings abzusehen, dass sich mit fortschreitender technischer Entwicklung und größerer praktischer Erfahrung die Anzahl vermarktungsfähiger Produkte erhöhen wird und die Kosten dieser Technologie zurückgehen werden.

Die weitaus meisten Anwendungen und Patente befassen sich bisher mit Obst und Gemüse, während Lebensmittel wie Milch, Fleisch und Fisch vor allem hinsichtlich chemisch-physikalischer Wirkungen der HDB eine untergeordnete Rolle spielen. Dies mag damit zusammenhängen, dass die durch die HDB ausgelösten Umsetzungen in den protein- und fetthaltigen Lebensmitteln tierischer Herkunft vielgestaltiger sind als in der Matrix eines Gemüses oder eines Obstsaftes.

Untersuchungen an Fleisch und Fleisch-erzeugnissen zeigten, dass die sensorische Qualität nur bedingt erhalten werden kann. Die Vorbehandlung – Denaturierungs- und Abtrocknungsgrad, Oberflächen-Volumen-Verhältnis – sowie Rezeptur und Umgebungsbedingungen haben großen Einfluss auf durch die durch HDB hervorgerufenen Effekte wie Farbe, Konsistenz, Geschmack und Mikrobiologie der Produkte. Das bedeutet, dass für jedes Fleischprodukt, welches mit hohem hydrostatischen Druck bearbeitet werden soll, spezifische Untersuchungen durchzuführen sind, um für die Praxis relevante und abgesicherte Resultate zu erhalten (KNORR, 1993).

#### *Einfluss der HDB auf die stoffliche Zusammensetzung*

Druckeinwirkung begünstigt alle Vorgänge, die mit einer Volumenverminderung verbunden sind. Bevorzugt laufen daher Phasenübergänge oder chemische Reaktionen ab, bei denen das Endprodukt ein geringeres Volumen hat als der Ausgangsstoff. Wasserlösliche Vitamine wie Vitamin C, Vitamine B1, B2, B6 und Folsäure scheinen durch die Druckbehandlung unter realistischen Produktionsbedingungen nicht oder nur wenig (SERFERT, 2002) beeinflusst zu werden.

#### *Lipide*

Über die durch HDB herbeigeführte Oxidation der Fette in Lebensmitteln finden sich widersprüchliche Aussagen, die oftmals nicht deutlich gegen die Veränderungen während der Lagerung abgegrenzt werden können. Enzymatische Restaktivitäten, Fettsäurespektrum, Wassergehalt, pH-Wert, Oxidationsgrad vor der Druckbehandlung, pro- und antioxidativ wirkende Zusatzstoffe haben einen entscheidenden Einfluss auf die druckinduzierte Veränderung der Lipide und den Oxidationsverlauf während der Lagerung. Nach HANJUN und LEDWARD (2013) werden bei Drücken ab 400 MPa vor allem ungesättigte Fettsäuren stärker oxidationsanfällig. Dies ist wahrscheinlich auf die Freisetzung von Eisen-Ionen aus in Fleisch vorkommenden

Komplexverbindungen (z. B. Hämosiderin und Ferritin) und/oder auf Strukturveränderungen der Lipidmembran bis hin zur Zerstörung des Zellverbundes zurückzuführen. Ergebnisse eigener Untersuchungen zur Fettoxidation bei Brühwurstkonserven zeigten, dass die HDB nur einen minimalen Einfluss auf die Fettoxidation hat. Bei Rohwurst kam es durch die HDB zu einem leichten Anstieg der Fettoxidationsparameter. Während der nachfolgenden Lagerung traten geringfügige oxidative hochdruckinduzierte Fettveränderungen auf (DEDERER und MÜLLER, 2007). FISCHER und SCHWÄGELE (2007) stellten ebenfalls fest, dass der Einfluss der HDB auf die Lipidoxidation differenziert zu sein scheint. So zeigt sich bei verschiedenen Produkten wie roher Bratwurst oder Teewurst, dass die Säurezahl durch HDB sinkt, während der TBARS-Wert (als mg Malondialdehyd pro kg Fleisch) meist zunimmt. Der analytisch erfassbare Unterschied ist jedoch häufig sensorisch nicht feststellbar. Außerdem kann der die Fettoxidation fördernde Einfluss der HDB durch den Einsatz antioxidativ wirkender Substanz (beispielsweise Rosmarinextrakt) kompensiert werden.

### *Kohlenhydrate*

Kohlenhydrate zeigen sich weitgehend unempfindlich gegenüber der HDB. Jedoch können Polysaccharide hinsichtlich ihrer Wasserbindungs- und Gelbildungseigenschaften beeinflusst werden. Die Veränderungen betreffen jedoch die funktionalen Eigenschaften und beinhalten nicht strukturelle Änderungen (PFISTER *et al.*, 2000).

### *Proteine*

Hochdruck bewirkt eine Änderung der Struktur und Reaktivität von Biopolymeren wie Proteinen. In Proteinen bewirkt der HDB durch ein Auffalten der molekularen Struktur eine Veränderung des Aggregatzustandes durch das Reagieren mit anderen Proteinen in Lebensmitteln oder durch Veränderung der Proteine. Hieraus resultiert eine Änderung der Textur von Lebensmitteln. Gelbildung ist eine Folge von

HDB (FELLOWS, 2005). Die Primärstruktur der Proteine wird durch hohen hydrostatischen Druck nicht verändert. Er beeinflusst hydrophobe Wechselwirkungen und damit die Quartärstruktur, die Tertiärstruktur durch reversibles Entfalten und die Sekundärstruktur durch irreversibles Entfalten des Proteins. So denaturiert Aktomyosin bei etwa 200 MPa und Myoglobin denaturiert bei 400 MPa (HANJUN und LEDWARD, 2013). Diese Autoren beschreiben ebenfalls, dass Druckintensitäten zwischen 100 und 150 MPa bei „prä-rigor“-Fleisch zu einer deutlichen Zunahme der Zartheit führen; dies funktioniert auch bei „post-rigor“-Fleisch, wenn die HDB bei etwa 60 °C durchgeführt wird. 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 HDB von Prion-Proteinen, gewonnen aus Hamstern und Rindern, zu einer Verringerung der Proteolyseresistenz der Prionen (HEINZ und KORTSCHACK, 2002). BUTZ (2007) stellt zum Einfluss der Hochdruckbehandlung auf die chemischen Veränderungen von Peptiden in Lebensmitteln folgendes fest: „Hoher Druck ist als ein der Temperatur ähnlicher thermodynamischer Faktor bekannt, der Gleichgewichte und Reaktionsraten des Volumens verbundenen chemischen/biochemischen Prozessen beeinflussen kann. Typische Druckbedingungen, die notwendig sind, um Pasteurisation zu erreichen, liegen im Bereich von 400 bis 700 MPa bei Temperaturen nicht höher als 40 – 50 °C und Behandlungsdauer von wenigen Minuten. Die Veränderungen von Peptiden sind nicht in größerem Umfang zu erwarten und sollten daher keine größere Relevanz in der Lebensmittelverarbeitung mit Hochdruckanwendungen haben. Jedoch sollte bedacht werden, dass biologisch aktive Peptide auch in Spuren Mengen wirksam sein können.“

### *Enzyme*

Bei Enzymen kann durch Druckbehandlung sowohl die Aktivität als auch die Sub-

stratspezifität beeinflusst werden. Auch eine partielle Inaktivierung ist möglich, Reaktivierung der Enzymaktivität, z. B. während der Lagerung, kann u. a. zur Bildung unerwünschter Stoffe führen. Veränderungen der Enzymaktivität sind bei der Hochdruckbehandlung stark abhängig von Prozessparametern (pH-Wert, Behandlungsdruck, Temperatur usw.) und von der Versuchsmatrix (Lebensmittel oder Modellsysteme). In einigen Fällen ist auch eine Aktivitätssteigerung von Enzymen unter Druck zu beobachten, was während der Druckaufbauphase zu Fehlparfums führen könnte. Die Bildung toxischer Verbindungen aufgrund veränderter Substratspezifität unter Druck wurde bisher nicht beobachtet (FERNANDEZ GARCIA *et al.*, 2002).

#### *Einfluss der HDB auf vegetative Mikroorganismen*

Da es bei der HDB primär um ein Konservierungsverfahren geht, steht die Inaktivierung von Mikroorganismen, vorzugsweise von Bakterien im Fokus der Produktbehandlung. HDB führt bei Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen, Pilzen zu deren Inaktivierung durch die Veränderung der Permeabilität der Zellmembran und durch die Inaktivierung der Enzyme (HAUCK und MEYER, 1999). Grundsätzlich sind zwei antimikrobielle Wirkungen zu unterscheiden: Wachstumsverzögerung und Abtötung der Keime. Eine vollständige Abtötung aller vorhandenen vegetativen Keime gelingt oft nur bei sehr hohem Druck. Vegetative Zellen der Bakterien werden durch hydrostatischen Druck im Bereich von 150 bis 800 MPa abgetötet. Mit steigendem Druck erhöht sich auch die Inaktivierungsrate.

Elektronenmikroskopische Aufnahmen von druckbehandelten Bakterienzellen zeigten, dass es nur selten zu einer sichtbaren Zerstörung der Zellen kommt. Meist bleiben die Zellen in ihrer Struktur erhalten und weisen nur geringe Veränderungen der Membranen auf. Direkt nach der Behandlung sind die Zellen nur eingeschränkt wachstumsfähig. Sie können sich in geeigneten Medien und unter optimalen Bedingungen jedoch regenerieren und

wieder vermehren. Wichtig ist, dass die Sensibilität der Bakterien gegenüber dem Hochdruck von einer Reihe verschiedener Faktoren beeinflusst wird. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen auch mit pathogenen Mikroorganismen. Das Überleben vegetativer Zellen während und nach einer HDB hängt stark von der Lebensmittelmatrix ab. Hinsichtlich der Sensibilität kann eine Reihenfolge gebildet werden: gramnegative Bakterien (*Pseudomonas*, *Salmonella spp.*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio parahaemolyticus*) > Hefen > Viren > Schimmelpilze > grampositive Bakterien (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*) (CHEFTEL, 1995; LOPEZ-CABALLERO *et al.*, 1999). Die Hochdruckbehandlung (300 MPa, 17 °C, 10 min) stellt eine zusätzliche Hürde für die mikrobiologische Stabilität von schwachsaurer Rohwurst hinsichtlich des Wachstums von Salmonellen dar. Für die Inaktivierung von Listerien war Druck von 600 MPa für 10 Minuten notwendig (BEGONYA *et al.*, 2005).

#### *Inaktivierung von Bakteriensporen in Fleischerzeugnissen*

Hoher hydrostatischer Druck allein ist für die Inaktivierung von Bakteriensporen nicht ausreichend; hierzu sind zusätzliche Einflussfaktoren erforderlich. In eigenen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass eine kombinierte Anwendung von Hochdruck- und Wärmebehandlung die vollständige Inaktivierung diverser Bakteriensporen ermöglicht (MÜLLER und DEDERER, 2008). Die Ergebnisse sind allerdings ausschließlich repräsentativ für die untersuchte Rezeptur und die verwendeten Sporenbildner. Bei anderen Rezepturen (z. B. pH-Wert,  $a_w$ -Wert, Kochsalzgehalt, Pökelfstoffe) bzw. anderen Sporenbildnern sind abweichende Ergebnisse nicht auszuschließen.

#### *Hochdruckinduzierte Veränderungen bei ausgewählten Fleischerzeugnissen*

Für Fleisch und Fleischerzeugnisse liegen Forschungsergebnisse des MRI vor, welche die Vorteile der Hochdrucktechnologie gegenüber konventionellen Konservie-

rungsverfahren belegen. Die Hochdruckbehandlung von Fleischerzeugnissen wurde in einer 2,3 l Hochdruckanlage der Fa. EPSI (Belgien) (Betriebsdruck max. 900 MPa; Temperatur von  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durchgeführt. Die Auswirkungen der HDB auf die mikrobiologischen, sensorischen, physikalischen Produkteigenschaften sowie speziell auch auf die Fettoxidation wurden in folgenden Forschungsarbeiten dargestellt:

FISCHER (2007) befasste sich mit den Auswirkungen der Prozessführung und der Milieubedingungen auf qualitative Parameter hochdruckbehandelter frischer Bratwurst und konstatiert: „Aufgrund der kurzen Haltbarkeit von frischer Bratwurst zeigt die HDB ein großes Potential. Es wurde festgestellt, dass die Verwendung von  $\text{CO}_2$  als Schutzgas während der HDB von frischer Bratwurst signifikant synergetische Effekte zeigte. Somit war bei einem Druck von 600 MPa eine längere Haltbarkeit bei hochdruckbehandelter frischer Bratwurst aufgrund der mikrobiologischen Stabilität möglich. Allerdings haben die HDB und Schutzgase negative Einflüsse auf sensorische Parameter. Die Textur der rohen Proben wurde durch HDB tendenziell fester. Allerdings wurden die gebratenen HD-behandelten Würste etwas weicher als nichtbehandelte. Ebenso nimmt die Salzintensität zu und das Gewürzaroma verflacht. In qualitativer Hinsicht besteht Optimierungsbedarf, der aber durch Rezepturmodifikationen realisierbar sein sollte. Die Lipidoxidation wird in der frischen Bratwurst abhängig von der Druckhöhe tendenziell beschleunigt.“

LAUTENSCHLÄGER (2007) untersuchte den Einfluss unterschiedlicher Temperaturen bei der Hochdruckbehandlung auf die Eigenschaften von streichfähiger Rohwurst (Zwiebelmettwurst) und gelangte zu folgenden Ergebnissen: „Ein Orientierungsversuch, bei dem die HDB bei einer Temperatur von  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  startete, brachte ein Produkt hervor, das hinsichtlich Textur und Farbe Eigenschaften einer pasteurisierten Ware aufwies. Schließlich traten Veränderungen des Geschmacks auf, die sich durch verringerte Würzintensität und durch intensiveren Zwiebelgeschmack äußerten. Durch Modifikationen der Rezeptur (z. B.

Zugabe von Hydrokolloiden), des Reifungsprozesses und bestimmter Verfahrensparameter sowie durch die HDB im gefrorenen Zustand war es möglich, die sensorische Qualität der kurz gereiften frischen Zwiebelmettwurst hinsichtlich Pökelfarbe und Konsistenz bis zum 21. Tag nach der HDB trotz Lagerung bei  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf einem Niveau zu halten, das mit dem einer handelsüblichen, industriell hergestellten Ware vergleichbar war.“

DEDERER und MÜLLER (2007) untersuchten hochdruckinduzierte Veränderungen bei schnittfester Rohwurst während der Reifung und Lagerung. Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen: „Aufgrund der Untersuchungsergebnisse lässt sich schließen, dass eine HDB von schnittfester Rohwurst am günstigsten und sinnvollsten am Ende der Reifung durchzuführen ist. Während der Lagerung der Rohwurst traten geringfügige oxidative hochdruckinduzierte Fettveränderungen auf. Die sensorische Qualität der hochdruckbehandelten Rohwürste war mit der der Kontrollen vergleichbar. HDB stellt eine zusätzliche Hürde hinsichtlich der mikrobiologischen Stabilität der Rohwurst dar. Die Rohwurstqualität wird durch diese neue Technologie nicht wesentlich beeinflusst.“

MÜNCH *et al.* (2005) treffen zum Einfluss der HDB auf die Bildung von Cholesteroxidationsprodukten (COP) in Brühwurstaufschnitt die folgenden Aussagen: „Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es durch die verschiedenen Hochdruckbehandlungen bei den acht untersuchten COP (7 $\alpha$ - und 7 $\beta$ -Diol, 25-Diol, 20  $\alpha$ -Diol, Triol, 7-Keto sowie  $\alpha$ - und  $\beta$ -Epoxid) sowohl in Gelbwurst als auch in Lyoner nur zu geringfügigen Konzentrationsveränderungen gekommen ist. Auch während der Lagerung der verschiedenen Chargen zeigten sich in beiden Produkten nur marginale Unterschiede. Die Bestimmung der TBARS bestätigte, dass die Oxidation nicht von der Höhe des Drucks beeinflusst wurde; allerdings war bei diesem Summenparameter – verglichen mit den COP – ein stärkerer Einfluss der Lagerzeit erkennbar, was aber auch für die Kontrolle gilt. Hinsichtlich der Bildung von COP ist zudem festzuhalten, dass sich der

Einsatz von Nitritpökelsalz im Hinblick auf die meisten untersuchten COP oxidationshemmend auswirkte, was auch durch die MDA-Gehalte wiederum bestätigt wurde. Die Oxidation von Nitrit zu Nitrat wurde durch die Hochdruckbehandlung etwas begünstigt. Sauerstoff wurde in Nitrat gebunden und stand für andere oxidierende Vorgänge nicht mehr zur Verfügung.“

LAUTENSCHLÄGER und MÜLLER (2006) untersuchten die Auswirkung der Hochdruckbehandlung von Nürnberger Bratwurst in Schutzatmosphärenpackungen auf deren sensorische, mikrobiologische und verpackungstechnische Parameter: „Die Untersuchungen befassen sich eingehend mit dem Einfluss der Hochdruckbehandlung auf das Erzeugnis Nürnberger Bratwurst, gebrüht und in MAP verpackt. Das Fazit aus den Untersuchungen lautet, dass es grundsätzlich möglich ist, das Produkt unter den beschriebenen Bedingungen mit hohem hydrostatischen Druck (600 MPa) zu behandeln und nach einer Lagerungsfrist von 6 Wochen ein sensorisch akzeptables Produkt zu erzielen.“

Untersuchungen mit dem Ziel, die Wirkung der HDB auf die Inaktivierung der produktspezifischen Kontaminations-Mikroflora von vakuumverpacktem Brühwurstaufschnitt festzustellen, wurden von KRÖCKEL und MÜLLER (2002) durchgeführt. „Für eine brauchbare Keimreduktion in vorverpacktem Brühwurstaufschnitt waren bei einer Temperatur von 0 °C und einer Druckhaltezeit von 10 min Drücke ab 600 MPa notwendig. Die Keimzahlen von sowohl gramnegativen als auch grampositiven Bakterien werden hier unmittelbar um wenigstens 4 bis 5 Zehnerpotenzen reduziert.

Die folgenden mikrobiologischen Daten unserer Untersuchung beziehen sich auf die Entwicklung der Keimflora während der Kühlung, die im Wesentlichen durch Rekontamination auf die thermisch behandelte Brühwurst (Mortadella) und damit in die Packung gelangt ist. Verglichen werden jeweils die nach unterschiedlichen Verfahren hochdruckbehandelte Ware und eine nicht hochdruckbehandelte Kontrollcharge. Erfasst wurden die aerobe, mesophile Gesamtkeimzahl,

die Gruppe der Laktobazillen sowie die Vertreter der *Enterobacteriaceae*. Während der Lagerung stieg die Gesamtkeimzahl der Kontrollen bis zum 35. Lagerungstag bis auf  $10^8$  KBE/g an. Die Mikroflora der Kontrollen bestand überwiegend aus den Milchsäurebakterien. Bei druckbehandelten Proben kam es nicht zum Anstieg der Gesamtkeimzahl sowie der Milchsäurebakterien während der gesamten Lagerzeit. Bis zum 38. Lagerungstag blieben die Laktobazillen unter der Nachweisgrenze. Die im Rahmen der Gesamtkeimzahl nachgewiesenen Bakterien der HDB-Proben waren ausschließlich Bazillen.

Die HDB von Fleischerzeugnissen bewirkt sehr unterschiedliche Effekte. Für eine aussagekräftige Diskussion der ermittelten Ergebnisse ist von großer Wichtigkeit, die Vorbehandlung der verschiedenen Fleischerzeugnisse zu betrachten. In den durchgeführten Untersuchungen wurde deutlich, dass Parameter wie der Reifegrad und damit verbunden die Abtrocknung der Produkte, der Zerkleinerungsgrad der eingesetzten Rohstoffe, die Entlüftung des Bräts vor dem Abfüllen, eine eventuelle thermische Vorbehandlung (Brühen) oder der Zusatz verschiedener Gewürze, Salze oder Antioxidantien eine erhebliche Auswirkung auf die HDB von Fleischerzeugnissen haben. Es ist nicht immer zielführend, eine HDB in Kombination mit konventionellen Rezepturen durchzuführen.

Es besteht die Möglichkeit, durch bestimmte technologische Schritte Fleischerzeugnisse derart zu gestalten, dass ihre sensorischen und/oder chemisch-physikalischen Eigenschaften durch die HDB nicht nachteilig beeinflusst werden. Instituts-eigene Forschungen haben außerdem bestätigt, dass die HDB im Hinblick auf Behandlungstemperatur und Druckintensität von gegenläufigen Effekten gekennzeichnet sein kann. So werden bei einer HDB von Fleischerzeugnissen im gefrorenen Zustand die sensorischen Parameter wie Festigkeit und Farbe kaum negativ beeinträchtigt, die Inaktivierung Verderbniserregender Mikroorganismen erfolgt dann jedoch in unzureichendem Maße. Wird die HDB bei +20 °C durchgeführt, ist die mikrobiologische Stabilisierung der Produkte

gegeben, allerdings sind deutliche sensorische Defizite zu verzeichnen. Bei moderaten Drücken (bis 400 MPa) bleiben die sensorischen Eigenschaften besser erhalten, aber die mikrobiologische Stabilisierung ist ungenügend; bei Drücken  $\geq 600$  MPa verhält es sich genau umgekehrt.

### Ausblick und Zusammenfassung

Die im Rahmen der am MRI durchgeführten Untersuchungen und Projekte zur HDB von Fleischerzeugnissen lieferten wertvolle Daten als Grundlage für die Entwicklung von Rezepturen für Fleischerzeugnisse, die für die HDB geeignet sind. Die HDB ist auf Grund der aufgeführten Resultate ein geeignetes Verfahren zur Haltbarmachung von ausgewählten Fleischerzeugnissen, da dieses Verfahren prinzipiell zum Herbeiführen einer Keimreduzierung geeignet ist. Der Grad der Inaktivierung von Mikroorganismen ist jedoch von zahlreichen Einflussfaktoren abhängig, sodass für jedes einzelne Erzeugnis zu prüfen ist, welche Verfahrensparameter der HDB (Temperatur, Zeitdauer und zeitlicher Verlauf, Druckintensität etc.) für die technologischen Herstellungsbedingungen (Rezeptur, Prozessparameter, Verpackungs- und Lagerungsbedingungen) zu wählen sind.

Die sensorische Qualität bleibt nur bedingt erhalten. Bestehende, d. h. praxisübliche Rezepturen sind nicht immer für die HDB geeignet. Für die Herstellung sensorisch akzeptabler, qualitativ hochwertiger Fleischerzeugnisse ist es notwendig, die Rezepturen hinsichtlich ihrer Eignung für die HDB zu überprüfen und gegebenenfalls zu optimieren, da sich aufgrund der Komplexität der Fleischerzeugnisse und der Herstellungsbedingungen keine allgemein gültigen Aussagen über die Wirksamkeit der HDB treffen lassen. Auch die Qualität des Ausgangsmaterials ist anzupassen. Für den Bereich der Rohware stellt die HDB aufgrund der ermittelten Ergebnisse eine besondere Perspektive dar, da im Falle der Einführung einer „Null-Toleranz“ für *Listeria monocytogenes* – in den USA bereits gängige Praxis – dieses Marktsegment aus Sicht der Produkt- und Verbrauchersicherheit kaum aufrecht erhalten

werden könnte. Durch eine HDB bei definierten Bedingungen wäre diese Vorgabe einzuhalten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt im Hinblick auf die HDB ist der Einfluss der Verpackung bzw. des Verpackungssystems, denn aus Gründen der Vermeidung einer Kontamination der Produkte werden diese in der Endverbraucherpackung behandelt. Die Einflüsse der HDB auf die Funktionalität von Verpackungsmaterialien sind bekannt. Um hochdruckbehandelte Produkte zu entwickeln und zur Marktreife zu bringen, ist es zumindest in Teilbereichen noch notwendig, das System Lebensmittel/Verpackungsmaterial/Verpackungsprinzip zu überprüfen und auf dessen Eignung für das speziell zu verpackende Gut zu untersuchen.

Zu beachten ist, dass der Status des Lebensmittels unmittelbar vor der Behandlung einen Einfluss auf den Verlauf der Veränderungen während der Lagerung hat. Des Weiteren ist es nicht möglich, qualitativ geminderte Produkte durch HDB zu verbessern und somit die Verbraucher zu täuschen. Aus dem Status des Produktes nach der HDB kann auch keine Aussage auf die Veränderungen während der Lagerung getroffen werden. Deshalb ist es wichtig, die lagerungsbedingten Veränderungen im Sinne des Verbrauchers nachzuweisen.

Ein Nachweis, dass Produkte hochdruckbehandelt wurden, ist mit den zur Verfügung stehenden klassischen Methoden der Analytik zurzeit nur eingeschränkt möglich, denn die HDB bringt keine Veränderungen hervor, die nicht auch durch andere technische Behandlungsverfahren generiert werden könnten (z. B. Eiweißdenaturierung, Fett-, Farb- und Texturveränderungen). Das bedeutet, dass die substantielle Äquivalenz der hochdruckbehandelten Produkte zu den nach herkömmlicher Technologie produzierten Fleischerzeugnissen prinzipiell gegeben scheint.

## Literatur

- Begonya, M., Teresa, A., Garriga, M. (2005): Evaluation of high pressure processing as an additional hurdle to control *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* in low-acid fermented sausages. *Journal of Food Science*, Vol. 70, Nr. 7, p. 339-344
- Butz, P. (2007): Einfluss der Hochdruckbehandlung auf chemische Veränderungen von Peptiden in Lebensmitteln. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, 46, Nr. 176, S. 117-118
- Cheftel, J. C. (1995): Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Sci. Technol. Int.* 1, p. 75-90
- Dederer, I., Müller, W. D. (2007): Hochdruckinduzierte Veränderungen bei schnittfester Rohwurst während der Reifung und Lagerung. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, 46, Nr. 176, S. 127-134
- Fernandez, G. A. *et al.* (2002): Enzyme-Substrate Specific Interactions: In Situ Assessments Under High Pressure. S. 189-192. In: R. Hayashi (Hrsg.): *Trends in High Pressure Bioscience and Biotechnology: Proc. First International Conference on High Pressure Bioscience and Biotechnology*
- Fischer, S. (2007): Auswirkungen der Prozessführung und der Milieubedingungen auf qualitative Parameter hochdruckbehandelter frischer Bratwurst. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, 46, Nr. 176, S. 119-126
- Fischer, S., Schwägele, F. (2007): Hochdruckbehandlung bei Fleischerzeugnissen – technologische Nutzung der Auswirkungen dieses innovativen Verfahrens auf die chemisch-physikalischen, sensorischen und mikrobiologischen Produktparameter. Schlussbericht AiF 14256N, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel (BFEL), Kulmbach
- Fellows, P. J. (2005): *Food Processing Technology Principles and Practice*, 2 ed.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge England
- Hanjun, M., Ledward, D. A. (2013): High pressure processing of fresh meat – Is it worth it? *Meat Science* 95, 4, p. 897-903
- Hauck, S., Meyer, A. H. (1999): Hochdruckbehandlung von Fleisch und Fleischwaren – ein Novel Food-Verfahren? (High pressure processing of meat and meat products). *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 95, S. 59-62
- Heinz, V., Kortschack, F. (2002): Method for modifying the protein structure of PrP(sc) in a targeted manner. Patent WO 02/49460
- Knorr, D. (1993): Effect of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technology (SA)*, 47, 156, p. 160-161
- Kröckel, L., Müller, W.-D. (2002): Inaktivierung von Bakterien in vakuumverpacktem Brühwurstaufschnitt: orientierende Versuche mit hohen hydrostatischen Drücken. *Fleischwirtschaft* 82, 9, S. 121-124
- Lautenschläger, R., Müller, W.-D. (2006): Auswirkung der Hochdruckbehandlung von Nürnberger Bratwurst in Schutzatmosphärenpackungen auf sensorische, mikrobiologische und verpackungstechnische Parameter. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt (Projektpartner: Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kulmbach und Kupfer & Sohn GmbH & Co. KG, Heilbronn)
- Lautenschläger, R. (2007): Einfluss unterschiedlicher Temperaturen bei der Hochdruckbehandlung von streichfähiger Rohwurst. Vortrag. 42. Kulmbacher Woche
- Lopez-Caballero, M. E., Carballo, J., Jimenez-Colmenero, F. (1999): Microbiological changes in pressurized, prepackaged sliced cooked ham. *J. Food Prot.* 62 (12), p. 1411-1415
- Müller, W.-D., Dederer, I. (2008): Untersuchungen zur Haltbarmachung von Brühwurstkonserven durch Hochdruck- und Wärmebehandlung. *Fleischwirtschaft* 88, 2, S. 99-102
- Münch, S., Dederer, I., Müller, W.-D. (2005): Einfluss der Hochdruckbehandlung auf die Bildung von Cholesteroloxyden in Brühwurstaufschnitt. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach* 44, Nr. 168, S. 107-114
- Pfister, M. *et al.* (2000): Der Einfluss der Hochdruckbehandlung auf chemische Veränderungen in Lebensmitteln. Eine Literaturstudie. Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin (BgVV-Hefte) 3, S. 17-22
- Pfister, M., Dehne, L. I. (2001): High Pressure Processing – Ein Überblick über chemische Veränderungen in Lebensmitteln. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 97, 7, S. 257-268