

**Auswirkungen der Prozessführung und der Milieubedingungen
auf qualitative Parameter hochdruckbehandelter frischer Bratwurst**
Effects of process design and environmental conditions on qualitative parameters
of high pressure treated fresh frying sausage

S. FISCHER

Zusammenfassung

Frische Bratwurst ist aufgrund ihrer sehr kurzen Haltbarkeit ein interessantes Produkt für die Hochdruckbehandlung (HDB). Um die mikrobiologische und qualitative Stabilität zu verbessern, wurden Untersuchungen unter Verwendung verschiedener Schutzgase durchgeführt, um eventuelle Synergieeffekte zu nutzen. Die HDB der frischen Bratwürste wurde im Intervallverfahren bei einer Ausgangstemperatur von 0 °C durchgeführt. Das übergeordnete Ziel – die mikrobiologische Stabilisierung – konnte unter Verwendung von CO₂ als Schutzgas in Kombination mit der HDB deutlich verbessert werden. Im Vergleich zu vakuumverpackten Proben wurde die Keimbelastung um ca. 4 Zehnerpotenzen, bezogen auf die Ausgangsverkeimung um ca. 6 Zehnerpotenzen, reduziert. Allerdings haben die HDB und Schutzgase negative Einflüsse auf sensorische Parameter, die bereits in der Literatur für rohe Fleischerzeugnisse beschrieben sind. Die Textur der rohen Bratwürste wird durch die HDB tendenziell fester. Die Ausnahme bildet die Anwesenheit von CO₂; diese Proben werden weicher. Gebraten wird sämtlichen hochdruckbehandelten Proben eine weichere Konsistenz zugeschrieben, die bei Anwesenheit von CO₂ am stärksten ausgeprägt ist. Die Farbe der Bratwürste wird mit steigendem Druck heller und weniger rot, die Ausnahme bildet erneut CO₂, es stabilisiert die Farbe. Ebenso nimmt die Salzintensität zu und das Gewürzaroma verflacht. Die HDB hat folglich positiven Einfluss auf die mikrobiologische Stabilisierung frischer Bratwurst. In qualitativer Hinsicht besteht Optimierungsbedarf, der aber durch Rezepturmodifikationen realisierbar ist.

Summary

Fresh frying sausage is because of its extremely limited shelf life an interesting product for high pressure treatment (HPT). For the improvement of the microbiological and qualitative stability investigations concerning synergistic effects of different protective gases were performed. The conditions for HPT were a starting temperature of 0 °C and a pressure holding time of 120 s for two times in an interval process. The microbiological stability as the superior intended purpose could be improved due to the combination of HPT and CO₂ as protective gas. In comparison to vacuum packed samples the inactivation is improved by 4 powers of ten, in relation to the starting contamination even by 6 powers of ten. But not only positive effects occur. There exists literature about negative sensorial effects of HPT and protective gases. The texture of raw frying sausage tends to increase in firmness. CO₂ is the exception, as these sausages show in raw and fried state a very low firmness. All the other fried sausages show also a lowered firmness but it is not expressed that significant. The colour of all high pressure treated samples becomes lighter and less red, but again not with CO₂ atmosphere which stabilises the colour. With increasing pressure, the salt intensity becomes dominant and the aroma of the spices is flattened. Therefore HPT shows positive effects on microbiological stability of fresh frying sausage. With respect to qualitative aspects further optimization is necessary. However, the solution of this problem appears to be possible by a consequent modification of the recipes.

Schlüsselwörter Hochdruck – Bratwurst – Lagerstabilität – Mikrobiologie – TBARS

Key Words high pressure – frying sausage – storage stability – microbiology – TBARS

Einleitung

Ein Großteil der international auf dem Markt erhältlichen hochdruckbehandelten Produkte weist einen niedrigen pH-Wert auf, da diese Lebensmittel mikrobiologisch einfacher zu stabilisieren sind. Hefen, Schimmelpilze sowie vegetative Zellen von Bakterien können im Gegensatz zu Sporen durch eine einfache Hochdruckbehandlung (HDB) inaktiviert werden. Die Abtötung von Sporen bei pH-Werten um ca. 4,0 ist nicht notwendig, da sie unter diesen Milieubedingungen nicht auskeimen können [6], [7]. Fleischerzeugnisse weisen in der Regel aber einen höheren pH-Wert zwischen 5,5 und 7 auf, wodurch ihre mikrobiologische Stabilisierung schwieriger zu realisieren ist. Trotzdem bietet die HDB interessante Möglichkeiten zur schonenden Haltbarmachung von Fleischerzeugnissen [4]. Dies zeigt sich am Beispiel, dass Rohpökelfleisch – z. B. aufgeschnittener Schinken – bereits als hochdruckbehandelte Produkte erhältlich sind. Sensiblere Fleischerzeugnisse wie „frische Bratwurst“ sind nur kurze Zeit haltbar (2-3 Tage) oder werden als SB-Produkte in gebrühtem Zustand vertrieben. Dies hat Einfluss auf den typischen frischen Charakter, der sensorisch als Qualitätseinbuße bewertet wird. Da die HDB nur geringen thermischen Einfluss hat, bietet sie auch für dieses Produkt eine vielversprechende Alternative. Allerdings steht fest, dass die HDB – im Gegensatz zu den meist positiven mikrobiologischen Effekten – unerwünschte Einflüsse auf die sensorischen Eigenschaften von Fleischerzeugnissen haben kann. So wird beispielsweise von einer verstärkten Lipidoxidation in Fleischerzeugnissen ab Drücken von 400 MPa berichtet [3]. Durch den Zusatz von natürlichen Antioxidantien – z. B. Rosmarinextrakt – kann diese jedoch unterbunden werden [2]. Ebenso werden häufig eine Aufhellung der Fleischfarbe und ein Weicherwerden der Textur beschrieben [5], [1]. Aufgrund dieser unterschiedlichen Effekte der HDB ist eine Optimierung in Rezeptur und Verarbeitungstechnologie notwendig. Zusätzlich müssen die zu verwendenden Ausgangsqualitäten, Behandlungsparameter und Zielvorgaben exakt definiert werden. Der

Konflikt, der durch diese gegenläufigen Effekte hervorgerufen wird, macht zusätzliche Maßnahmen zur Haltbarkeitsverlängerung und zum Qualitätserhalt notwendig.

Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung von zusätzlichen Hürdenkonzepten, wie z. B. die Verwendung von Schutzgasen, und Maßnahmen zur Kompensation negativer Effekte der HDB sowie deren Auswirkungen auf qualitative Parameter von hochdruckbehandelten Bratwürsten.

Material und Methoden

Hochdruckbehandlung

Die Hochdruckbehandlung erfolgt in einem „Hochdruck-Lebensmittel-Prozessor“ der Firma EPSI N.V. (Belgien). Die Anlage hat ein Volumen von 2,3 l und ist auf maximal 900 MPa und einen Temperaturbereich von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgelegt. Durch die adiabate Erwärmung während der HDB können Temperaturen von ca. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht werden. Es stehen ein externer Temperierkreislauf über den Autoklavmantel und eine interne Heizung im Behandlungsraum zur Verfügung. Hierdurch kann eine flexible Temperaturführung und -einstellung realisiert werden. Die Temperaturerfassung erfolgte *in situ* an 3 Messstellen im Druckbehälter. Als Druckübertragungsmedium wird ein Glykol-Wassergemisch verwendet, welches schmierende Wirkung hat und bei Drücken $>600\text{ MPa}$ den Phasenübergang flüssig – fest verhindert. Die HDB wird im Intervall-Verfahren durchgeführt, der Druckauf- und -abbau erfolgt in 60 s, die Haltezeit beträgt 120 s. Nach einer Ruhephase von 120 s wird dieser Vorgang wiederholt. Dieses Verfahren wurde ausgewählt, da in Vorversuchen mit dieser Behandlungsmethode die besten mikrobiologischen Resultate erzielt wurden. Weitere Untersuchungen ergaben, dass mit einer Ausgangstemperatur von $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ die besten sensorischen Resultate erzielt werden, weshalb diese Temperatur gewählt wurde. Die Lagerung der Proben erfolgte bei $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ für bis zu 28 Tage. Die Variation der Behandlungs- bzw. Herstellungsparameter

erfolgte spezifisch angepasst an die verschiedenen Untersuchungen, bei denen signifikante Veränderungen zu erwarten waren. Variiert wurden die Druckhöhe, die Schutzgaszusammensetzung (100 % CO₂; 100 % N₂; Mischung 50/50) und die Vorbehandlung (Evakuierung). In Abhängigkeit von diesen Parametern wurden die folgenden mikrobiologische Untersuchungen sowie Bestimmungen von Farbe, Festigkeit, Homogenität und eine sensorische Bewertung durchgeführt.

Sensorik

Es wurde eine beschreibende Prüfung nach DLG 5-Punkte-Schema durchgeführt. Die Ausprägung der einzelnen Produkteigenschaften der hochdruckbehandelten Proben wurde im direkten Vergleich zur unbehandelten Kontrollcharge bewertet. Die Prüfungen wurden von einem geschulten Verkosterpanel durchgeführt.

Mikrobiologie

Die Untersuchungen wurden mit beimpften (*Serratia marcescens*; *Listeria innocua*; *Brochothrix thermosphacta*) und unbeimpften Proben durchgeführt. Erfasst wurden die aerobe mesophile Gesamtkeimzahl (Standard I-Agar), die *Lactobacillaceae* (MRS-Agar), die *Enterobacteriaceae* (DHL-Agar), die *Pseudomonaceae* (DHL-Agar), die *Micrococcaceae* (MSE-Agar) und *Listerien* (PALCAM-Agar).

Fettkennzahlen

Zur Absicherung der sensorischen Beurteilung wurden die Säurezahl und die Thiobarbitursäure reaktiven Substanzen (TBARS) ermittelt, da diesbezügliche Veröffentlichungen und eigene Vorarbeiten den Schluss zulassen, dass der Fettverderb durch die HDB beschleunigt wird. Die Säurezahl gibt den Anteil an freien organischen Säuren bezogen auf Fett an. Mit den TBARS wird anhand des Malondialdehydgehalts (Hauptoxidationsprodukt der Polyensäuren) das Fortschreiten der Lipidoxidation bestimmt.

Farbe

Zur Bestimmung der Farbveränderungen wurden die Farbmaßzahlen im L^{*}-, a^{*}-, b^{*}-System mit einem Minolta Chroma Meter CR 200 festgehalten. L^{*} ist ein Maß für die

Hell/Dunkelbewertung, a^{*} für die Rot-/Grünbewertung und b^{*} für den Gelb-/Blauanteil. Je höher diese Werte sind, desto heller, intensiver rot oder gelb erscheint die Farbe des Produktes.

Festigkeit

Die Verifizierung der sensorisch ermittelten Unterschiede in der Bissfestigkeit wurde durch Messung der Festigkeit/Härte mittels Instron und Texture Analyzer Ta XT2 erzielt. Für die frische Bratwurst kam eine Warner-Bratzler-Scherzelle und eine Rückextrusionszelle zum Einsatz. Bei beiden Messmethoden wird die Gegenkraft gemessen, die das Produkt dem Schneide- bzw. Pressstempel entgegenbringt.

Wursterstellung

Für die HDB wurden Bratwürste nach einer konventionellen Rezeptur ohne Zusatzstoffe zur Verbesserung der Stabilität hergestellt. Schweinefleisch (S2), Schweinebacken, Speck und Eis wurden fein gekuttert und am Ende die Gewürze zugegeben. Vor dem Abfüllen wurde das Brät gut entlüftet. Um eine Vakuumverpackung zu ermöglichen, wurden die Bratwürste kurz angefroren. Die in Schutzgasatmosphäre verpackten Proben mussten nicht angefroren werden.

Ergebnisse und Diskussion

Die frische Bratwurst ist durch ihren rohen Zustand erstens bezüglich der hochdruckinduzierten Lipidoxidation und Farbveränderungen als problematisch zu betrachten, und zweitens ist eine verstärkte mikrobiologische Anfälligkeit zu erwarten. Im Folgenden werden die Auswirkungen der Schutzgase bzw. des Vakuums direkt nach der HDB beschrieben. Lagerversuche konnten bisher nur mit vakuumverpackten und für die Mikrobiologie mit CO₂-begasten Proben durchgeführt werden. Ein typischer Effekt der HDB ist die Verringerung der Festigkeit. Durch Evakuierung des Bräts kann die Ausprägung dieses Phänomens deutlich reduziert werden. In Abbildung 1 ist die Auswirkung von unterschiedlich intensiven Vorevakuierungen auf die Textur und das Schnittbild

von hochdruckbehandelter Bratwurst zu sehen. Der Einfluss der Vorevakuierung und der HDB ist deutlich zu erkennen. Die in der unevakuierter Kontrolle fein verteilten Gaseinschlüsse bilden während der HDB durch ein Zusammenfließen der überkritisch vorliegenden Gasmischungen Hohlstellen, die durch den Übergang in die Gasphase während der Dekompression und die damit verbundene Volumen-

zunahme der Gase noch vergrößert werden. Die entstehenden Hohlstellen führen zu einer Abnahme der Festigkeit, da das gesamte Brät einfacher gegeneinander zu verschieben ist. Bei 2-fach vakuumierter Probe ist dies nicht mehr der Fall, das Brät ist deutlich kompakter und auch nach dem Braten bleibt die Festigkeit besser erhalten. Die folgenden Proben wurden alle vor dem Abfüllen intensiv entlüftet.

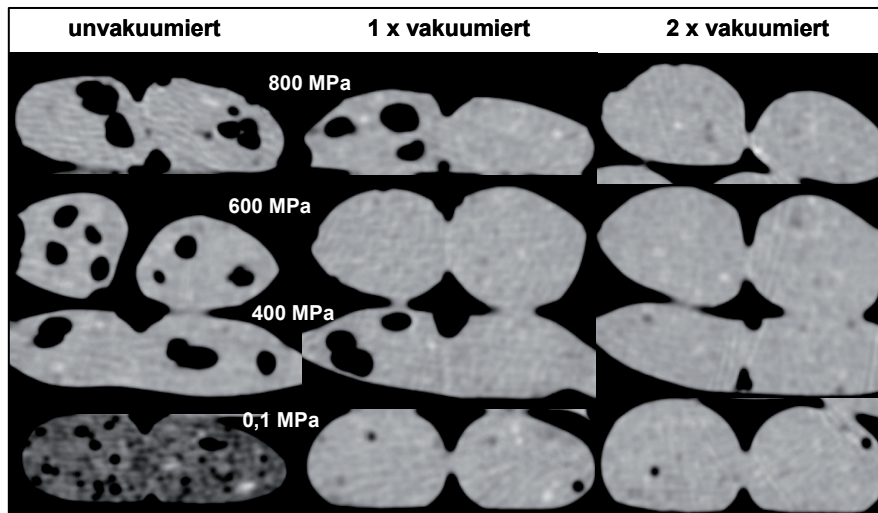


Abb. 1: Computertomographische Aufnahmen von unterschiedlich intensiv vorvakuumierter Bratwurst in Abhängigkeit vom Druck in MPa

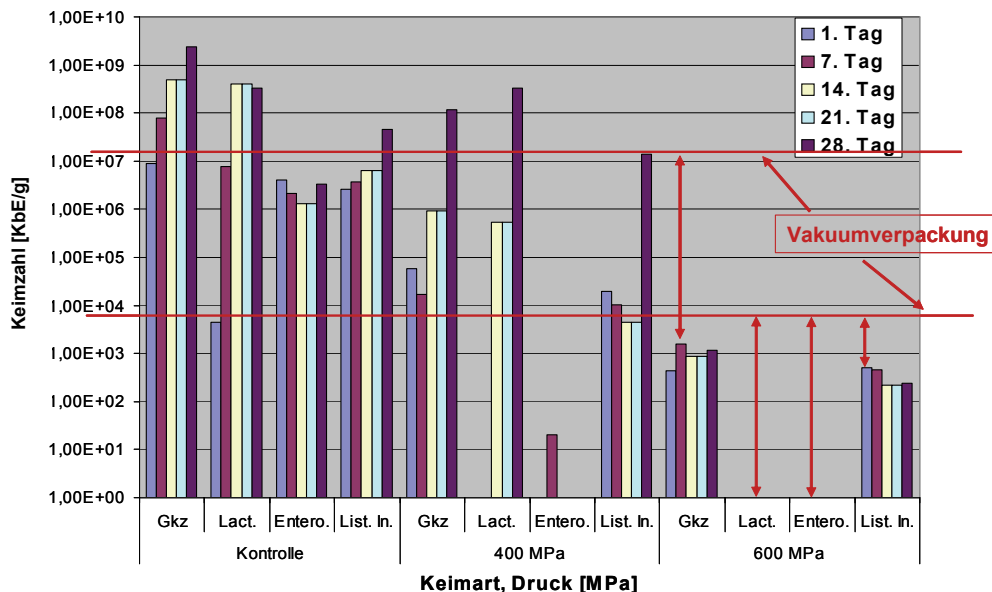


Abb. 2: Keimzahl verschiedener Mikroorganismenfamilien bzw. -ordnungen vor bzw. nach der HDB in CO₂-Atmosphäre über eine Lagerdauer von 28 Tagen in Abhängigkeit vom Druck in MPa

Das übergeordnete Ziel der HDB ist die Verbesserung der mikrobiologischen Stabilität. In Abbildung 2 ist der Einfluss des Schutzgases CO₂ auf die Inaktivierung verschiedener Familien und Ordnungen von Mikroorganismen in frischer Bratwurst im Vergleich zu vakuumverpackten Proben zu sehen. Die rot eingesetzten Linien zeigen die Keimzahlen für vakuumverpackte und bei 600 MPa hochdruckbehandelte frische Bratwürste. Die Gesamtkeimzahl sowie der Gehalt an *Lactobacillaceae* und *Enterobacteriaceae* kann um ca. vier Zehnerpotenzen reduziert werden. Für Listerien ist der positive Effekt nicht so deutlich ausgeprägt, trotzdem kann eine Verbesserung um ca. eine Zehnerpotenz erreicht werden. Die Verwendung von CO₂ als Schutzgas während der HDB zeigt eindeutig synergistische Effekte. Mikrobiologisch ist bei einem Druck von 600 MPa eine Haltbarkeit von 28 Tagen realisierbar. Längere Lagerperioden kamen bisher nicht zur Durchführung.

Allerdings sind nicht nur Auswirkungen auf die Mikrobiologie zu erwarten. Da es sich um ein rohes Produkt handelt, muss auf die Fettkennzahlen geachtet werden. Diese Untersuchungen konnten bisher über eine längere Lagerdauer allerdings nur für vakuumverpackte frische Brat-

würste durchgeführt werden. In Abbildung 3 ist der Gehalt der TBARS-Werte in Abhängigkeit von Druck und Lagerdauer aufgeführt. Der in der Literatur beschriebene Effekt der forcierten Lipidoxidation durch die HDB wird tendenziell bestätigt, allerdings bewegt er sich deutlich unter dem sensorischen Schwellenwert von ca. 0,8 mg/kg.

Die Säurezahl wurde mit zunehmendem Druck reduziert. Dies korreliert eindeutig mit dem mikrobiellen Verderb, da die Kontrollprobe bereits nach 7 Tagen stark erhöhte Werte zeigte.

Diese Resultate bestätigten sich bei der sensorischen Bewertung der hochdruckbehandelten, gebratenen Bratwürste, da bei keiner Druckstufe eine beginnende Ranzigkeit festgestellt werden konnte. Negative Bewertungsmerkmale sind hauptsächlich die zu weiche Textur der hochdruckbehandelten Bratwürste, eine Verblässung der Farbintensität, die Zunahme der Salzintensität und ein Verflachen des Gewürzaromas. Diese Bewertungen sind nahezu deckungsgleich mit den unter Schutzgasatmosphäre verkosteten Proben. Einzig die unter CO₂ behandelten Proben zeigten signifikant eine noch weichere Textur, was eindeutig negativ zu bewerten war.

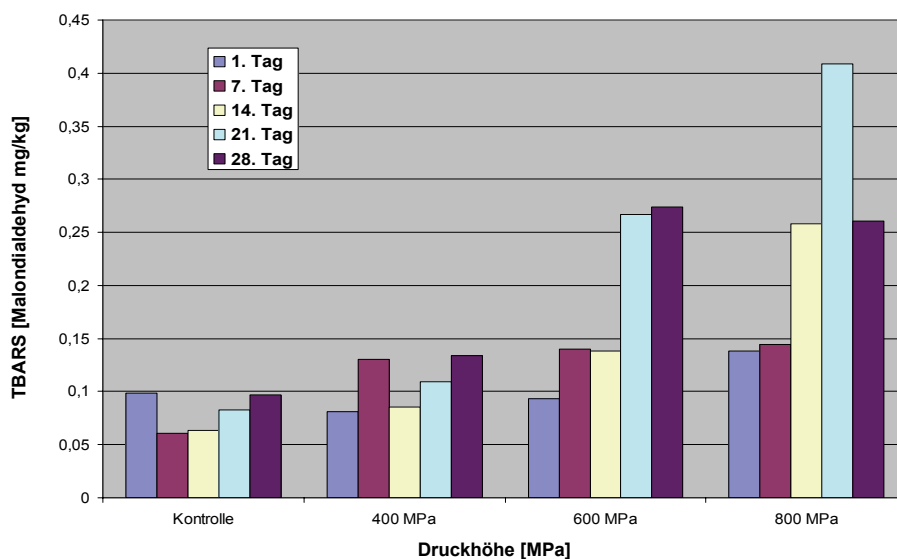


Abb. 3: TBARS-Werte in mg Malondialdehyd/kg bei vakuumverpackter frischer Bratwurst in Abhängigkeit vom Druck in MPa und der Lagerdauer

Aus diesen Erkenntnissen ist die unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Verpackungsprinzipien und Schutzgase abzuleiten, weshalb deren Effekte näher betrachtet wurden. In Abbildung 4 ist der unterschiedliche Einfluss von N₂ und einer Mischung aus N₂ und CO₂ (50/50) zu sehen. Die Festigkeit hochdruckbehandelter frischer Bratwürste zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom verwendeten Schutzgas. Wird N₂ verwendet, ist eine Abhängigkeit von der Druckhöhe zu erkennen. Mit steigendem Druck nimmt die

Festigkeit zu. Wird eine Mischung aus N₂ und CO₂ verwendet, ist die Druckhöhe nicht mehr entscheidend. Es genügen bereits 400 MPa, um eine Verfestigung zu erreichen, die nahe an die der 800 MPa-Probe heranreicht. Für CO₂ als Reingas und die vakuumierten Proben war ein ähnliches Verhalten wie für reines N₂ zu beobachten.

Die Einflüsse der verschiedenen Schutzgase auf die Farbmaßzahlen unterscheiden sich ebenfalls. Während CO₂ den L*-

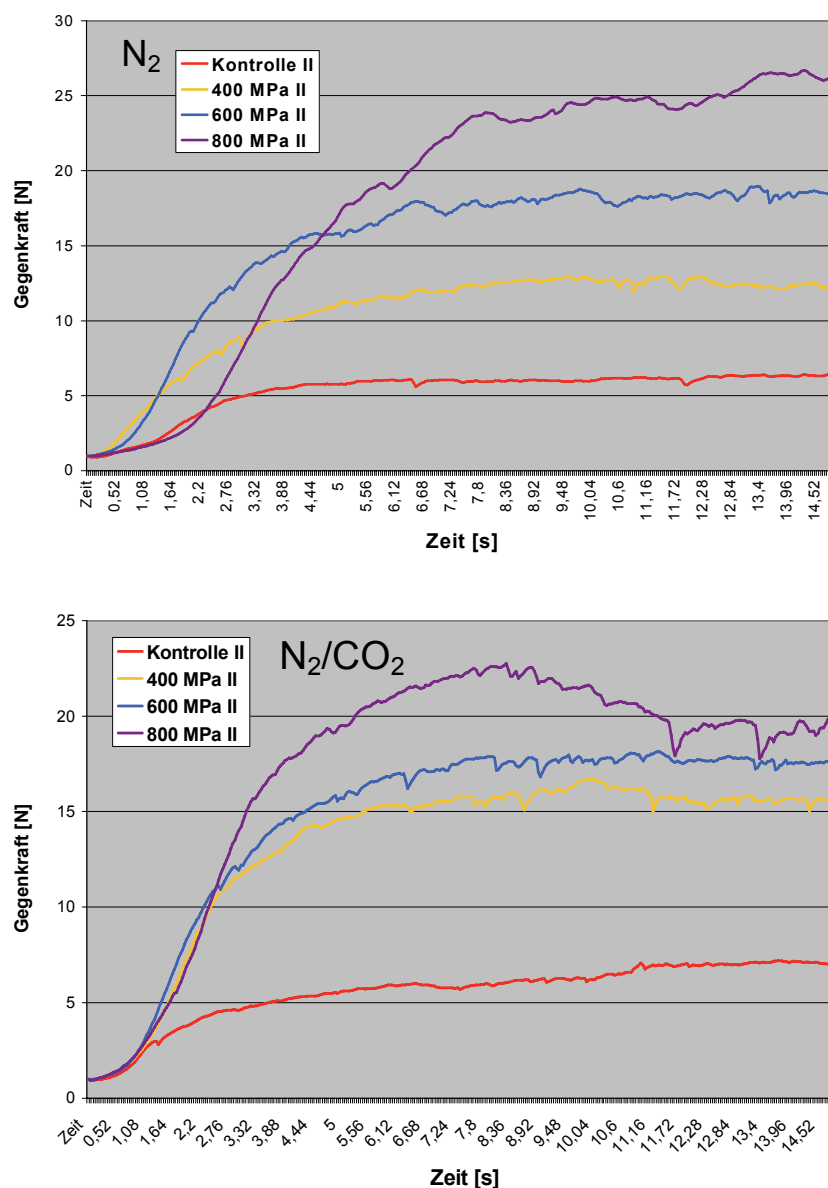


Abb. 4: Auswirkungen der Schutzgase N₂ (links) und der Mischung N₂/CO₂ (rechts) auf die Festigkeit frischer Bratwürste in Abhängigkeit vom Druck in MPa

und den a^* -Wert stabilisiert, ist bei den restlichen Schutzgasen und den vakuumierten Proben eine Zunahme des L^* -Wertes – der Helligkeit – und ein Abnahme des a^* -Wertes – der Rotintensität – zu verzeichnen. Diese Tendenz trifft auch zu, wenn man unterschiedliche Fleischqualitäten verwendet. Fleisch mit einem pH-Wert von 5,99, das naturgemäß dunkler ist, erfährt unter Druck eine stärkere Aufhellung und eine deutlichere Abnahme der Rotintensität, einzig CO_2 stabilisiert diese Werte. Die Fleischqualität hat aber auch Einfluss auf die Festigkeit der hochdruckbehandelten Proben. Bis 400 MPa zeigen Bratwürste mit einem pH-Wert von 5,63 bei allen Schutzgasen eine deutlich höhere Festigkeit im Vergleich zu Proben, die einen pH-Wert von 5,99 aufwiesen. Ab 600 MPa ist dieser Unterschied nicht mehr signifikant erkennbar, das heißt, die textuellen Unterschiede dieser Fleischqualitäten werden durch den Hochdruck ausgeglichen.

Die Hochdruckbehandlung bewirkt bei verschiedenen Schutzgasen bzw. einer Vakuumverpackung unterschiedliche Effekte während der HDB. Dies lässt sich unter anderem durch die spezifischen Eigenschaften der Gase erklären, die sich im Grad ihrer Inertheit, ihrer Molekülgröße und Polarität unterscheiden. Diese Unterschiede initiieren verschiedene Prozesse, die sowohl für geschmackliche als auch textuelle und farbliche Unterschiede verantwortlich sind. Diese Phänomene sind hauptsächlich auf Veränderungen auf Proteinebene zurückzuführen, wobei auch die druckinduzierte Denaturierung von Bedeutung ist. Als Folge dieser Veränderungen sind Auswirkungen auf das Wasserbindungsvermögen zu erwarten und durch den erhöhten Anteil an freiem Wasser lässt sich ansatzweise der Eindruck der verstärkten Salzintensität erklären.

Schlussfolgerung

Die HDB von Fleischerzeugnissen oder in diesem Fall von frischer Bratwurst zeigt ein großes Potential. Durch die Nutzung von Synergieeffekten durch HDB und Schutzgase sind mikrobiologisch haltbare

Produkte möglich, ohne Zusatzstoffe zur Verlängerung der Haltbarkeit zusetzen zu müssen. Allerdings besteht noch Forschungsbedarf bezüglich der Optimierung von sensorischen und textuellen Aspekten. Durch Variation von Gewürzkonzentrationen und Verwendung natürlicher Bindemittel sollte allerdings die Möglichkeit bestehen, diese Problemstellung erfolgreich zu bearbeiten. Für zukünftige Forschungsaktivitäten wird es wegweisend sein, die Interaktionen zwischen Verpackung, Schutzgas und Fleischerzeugnis bzw. Lebensmittel zu berücksichtigen, da nur auf diesem Wege ein haltbares Produkt gewährleistet werden kann. Hierfür ist es notwendig, die Funktionalität der Verpackung und das Mikroklima in der Verpackung zu erhalten und zusätzlich die mögliche Gefahr des Übergangs von löslichen Substanzen aus der Verpackung ins Lebensmittel zu betrachten. Wird dieses Gesamtkonzept zielgerichtet untersucht und eine sinnvolle Kombination von Schutzgas und Verpackung für Lebensmittel mit variierenden Eigenschaften konzipiert, so bietet die HDB für Fleischerzeugnisse, aber auch für andere Lebensmittel eine vielversprechende, schonende Alternative zur thermischen Behandlung.

Literatur

- [1] AYO, J., J. CARBALLO, M.T. SOLAS, F. JIMENEZ-COLMENERO (2005): High pressure processing of meat batters with added walnuts. *International Journal of Food Science and Technology* 40, 47-54
- [2] BRAGAGNOLO, N., B. DANIELSEN, L.H. SKIBSTED (2005): Effect of rosemary on lipid oxidation in pressure-processed, minced chicken breast during refrigerated storage and subsequent heat treatment. *Eur Food Res Technol* 221, 610-615
- [3] CHEAH, P.B. & D.A. LEDWARD (1995): High-pressure effects on lipid oxidation. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 72, 1059
- [4] DE HEIJ, W. B. C.; L. J. VAN SCHEPDAEL, R. MOEZELAAR, H. HOOGLAND, A. M. MATSER, R. W. VAN DEN BERG (2003): High-Pressure Sterilisation: Maximizing the Benefits of Adiabatic Heating. *Food Technology* 57 (3), 37-41
- [5] JUNG, S., M. GHOUL, M. DE LAMBALLERIE-ANTON (2003): Influence of high pressure

- on the colour and microbial quality of beef meat. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 36, 625-631
- [6] KRÖCKEL, L., W.-D. MÜLLER (2002): Inaktivierung von Bakterien in vakuumverpacktem Brühwurstaufschnitt. *Fleischwirtschaft* 82 (09), 121-124.
- [7] WUYTACK, E.Y., C.W. MICHIELS (2001): A study on the effects of high pressure and heat on *Bacillus subtilis* spores at low pH. *International Journal of Food Microbiology* 64, 333-341