

Untersuchungen zur Rindfleischreifung mit einem alternativen System und zu einer anschließenden Verpackung unter Schutzatmosphäre

Investigations to the ageing of hot-boned meat with an alternative system and to a following packaging under protective atmosphere

S. MÜNCH und R. LAUTENSCHLÄGER

Zusammenfassung

Roastbeef wurde warm bzw. kalt entbeint und jeweils zwei Wochen im Pi-Vac-System sowie anschließend nach dem Aufschneiden weitere zwei Wochen unter Schutzatmosphäre mit einem Sauerstoffanteil von 40 bzw. 80 Prozent gelagert. Im Vergleich zu Kaltfleisch zeigte Warmfleisch signifikant bessere Werte hinsichtlich Festigkeit und Zartheit sowie signifikant höhere L*- und b*-Werte. Bei den Parametern Grillverlust, Gesamtkeimzahl, Milchsäurebakterien, Enterobakteriaceen, a*-Wert, Saftigkeit, Aroma, TBARS und COP (Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen und Cholesteroxidationsprodukte) waren hingegen keine beträchtlichen Unterschiede zwischen Warm- und Kaltfleisch festzustellen.

Im Verlauf der zweiwöchigen Lagerung im Pi-Vac-System lag der Gewichts- bzw. Aus-saftungsverlust bei Warmfleisch niedriger als bei Kaltfleisch, während bei der anschließenden, ebenfalls zweiwöchigen Lagerung in sauerstoffreicher Atmosphäre der Verlust bei Warmfleisch etwas größer war. Die sensorisch ermittelten Aromawerte variierten im Verlauf der zweiwöchigen Pi-Vac-Lagerung kaum, allerdings verschlechterten sie sich während der anschließenden ebenfalls zweiwöchigen Lagerung in sauerstoffreicher Atmosphäre signifikant. Die TBARS- und COP-Werte zeigten ein vergleichbares Verhalten und veränderten sich während der Pi-Vac-Lagerung nur moderat. Im Gegensatz dazu stiegen die Gehalte bei der anschließenden ein- bzw. zweiwöchigen MAP-Lagerung stets signifikant an, im Maximalfall (7 β -Diol) insgesamt bis zu einem Faktor von ca. 40 (TBARS bis Faktor 60).

In einem zweiten Versuch wurde warm entbeintes, verpacktes Roastbeef vor der Lagerung einer kurzzeitigen Heißwasserbehandlung unterworfen. Diese Maßnahme führte bei keinem der untersuchten Parameter zu signifikanten Veränderungen im Vergleich zu nicht behandeltem Warmfleisch. Die Veränderungen der verschiedenen Parameter im Verlauf der vierwöchigen Lagerung verliefen analog zum ersten Versuch.

Schlüsselwörter Warmfleisch – Alternativsystem zur Fleischreifung – MAP

Key Words hot-boned meat – alternative ageing system – MAP

Summary

The *longissimus dorsi* muscle of beef was hot-boned and cold-boned, respectively, and was stored for two weeks in the Pi Vac system in each case. Afterwards it was sliced and packed under modified atmosphere with an oxygen content of 40 and 80 per cent, respectively, and was stored for two more weeks. In comparison to cold-boned meat hot-boned meat showed significantly better values concerning hardness and tenderness as well as significantly higher L*- and b*-values. However, regarding the parameters heating weight loss, total aerobic microbial count, *Lactobacillaceae*, *Enterobacteriaceae*, a*-value, juiciness, flavour, TBARS and COP no substantial differences could be ascertained between hot-boned and cold-boned meat.

During the 2-week storage in the Pi Vac system the weight or drip loss of hot-boned meat was lower than with cold-boned meat, while within the following 2-week storage under high oxygen atmosphere hot-boned meat showed a slightly higher loss. The sensory scores for flavour hardly changed in the course of the 2-week Pi Vac storage, however, they got significantly worse during the following 2-week storage under high oxygen atmosphere. The

TBARS and COP values showed a similar behaviour and changed only slightly during the Pi Vac storage. By contrast, the concentrations always increased significantly during the following one or 2-week MAP storage; the maximum (7 β -Diol) reached a factor of approx. 40 altogether (TBARS increased by a factor of 60).

In a second experiment hot-boned, packaged meat was subjected to a brief hot water treatment before storage. This procedure did not result in significant changes of any of the examined parameters in comparison to the untreated hot-boned meat. The development of the different parameters during the 4-week storage period was similar to the first trial.

Einleitung

Die Zartheit stellt ein wichtiges Qualitätskriterium bei Fleisch dar. Sie ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig; prinzipiell kann sie erst nach der Reifung bewertet werden. Zur Erzeugung von Rindfleisch geeigneter Qualität und Zartheit wird im Gegensatz zu anderen Fleischarten eine deutlich längere Reifungszeit unter klimatisierten Bedingungen benötigt, die zwangsläufig zeit- und kostenintensiv ist. Die Verwendung von Warmfleisch (d. h. warm entbeintem Fleisch) kann eine Reihe von Vorteilen mit sich bringen, wie die Einsparung an Kühlkapazitäten (Platz- und Kosteneinsparung, da keine Kühlräume zur Kühlung der Tierkörperhälften benötigt werden). Auch der Energiebedarf kann verringert werden, weil bei Warmfleisch die Knochen nicht mit abgekühlt werden müssen. Infolge der sich an die Schlachtung direkt anschließenden Zerlegung sind zudem ein Zeitgewinn an sich sowie eine Arbeitszeitersparnis aufgrund schnellerer Zerlegung zu erwarten. Die Oberfläche von Warmfleisch weist in der Regel geringere Keimzahlen auf als gekühltes Fleisch. In Verbindung mit der kurzen Zeit zwischen Schlachtung und Verpackung sind somit längere Haltbarkeitsfristen wahrscheinlich. Darüber hinaus sind angenehmeres Aroma und aufgrund des besseren Wasserbindungsvermögens geringere Gewichts- bzw. Tropfsaftverluste zu erwarten. Mit weiteren Gewichtsvorteilen durch Verminderung der Verdunstung bzw. Austrocknung infolge der entfallenden Kühlung der unverpackten Tierkörperhälften kann ebenso kalkuliert werden wie mit einem relativ neutralen Geruch des Fleisches nach der Entnahme aus der Reife-Verpackung; dieser steht im Gegensatz zu dem typischen säuerlichen Aroma von unter Vakuum verpacktem Fleisch. Aus

technischen Gründen konnten die Vorteile von Warmfleisch im Hinblick auf die Fleischqualität bisher hauptsächlich nur für Verarbeitungsfleisch (Wurstproduktion) genutzt werden. Durch den Einsatz eines alternativen Verpackungsverfahrens könnte die Warmfleischreifung auch zur Herstellung von Bratenfleisch bzw. Kurzgebratenem eingesetzt werden.

Bei dem Pi-Vac-Verpackungssystem handelt es sich um ein speziell entwickeltes Verfahren, bei dem das zu verpackende Fleisch über ein entsprechendes Verpackungsrohr in einen elastischen Folienschlauch mit Unterdruck hineingesaugt wird. Dazu wird der Folienschlauch an der vorderen Öffnung des Verpackungsrohres durch Greifhaken bis zu dessen Rand geöffnet. Hat das Fleischstück die richtige Position erreicht, wird der Unterdruck automatisch abgeschaltet und der Schlauch abgelängt. Das verpackte Fleischstück wird dem Verpackungsrohr entnommen, wodurch gleichzeitig das nächste Fleischstück nachgezogen wird. Die nun am verpackten Fleisch eng anliegende Folienhülle wird an beiden Enden manuell durch Metallclips verschlossen. Es handelt sich somit weder um eine Vakuum- noch um eine Schutzgasverpackung.

Durch zu schnelle Kühlung besteht insbesondere bei Warmfleisch die Gefahr des Auftretens von sogenanntem 'cold-shortening', einer extremen Ausprägung des Actin-Myosin-Komplexes, der mit einer starken Muskelverkürzung und Zähigkeit des Fleisches einhergeht. Denn bei der hier direkt nach dem Schlachten stattfindenden Zerlegung werden die Knochen als Stützgerüst des Warmfleisches entfernt und die warm verpackten Fleischstücke zur anschließenden Kühlung liegend gela-

gert. Durch die eng anliegende Folie beim Pi-Vac-Verfahren bzw. den mechanischen Druck des elastischen Verpackungsmaterials auf das Fleischstück soll eine Schrumpfung des verpackten Muskels in Längsrichtung verhindert werden.

Die Ziele der durchgeführten Versuche bestanden zum einen darin herauszufinden, wo die Vor- und Nachteile des Verpackens von Warmfleisch liegen im Vergleich zu Kaltfleisch (Versuch 1). Zum anderen sollte geklärt werden, ob die Anwendung einer Heißwasserbehandlung direkt im Anschluss an die Verpackung von Warmfleisch (mikrobiologische) Vorteile mit sich bringt (Versuch 2). Zudem sollte jeweils die Entwicklung der einzelnen Untersuchungsparameter während der Lagerung in den unterschiedlichen Verpackungssystemen ermittelt werden.

Material und Methoden

Als Versuchsmaterial wurden beide Roastbeefstränge von Färsen der Rasse Fleckvieh eingesetzt, wobei der *Musculus longissimus dorsi* (LD) nach Überprüfung des pH-Wertes freigelegt wurde, indem Knochen, anhaftendes Fett und benachbarte Muskeln entfernt wurden. Je Tier wurde ein Muskel zur Warm-, der andere zur Kaltfleischverpackung verwendet (Versuch 1; vier Tiere), bzw. nach der Warmfleischverpackung bei einem Muskel eine Heißwasserbehandlung (82 °C; 8 s) durchgeführt, beim anderen nicht (Versuch 2; vier Tiere). Zwischen dem Schlachtzeitpunkt und dem Verpacken des Warmfleisches mittels des Pi-Vac-Systems lag eine Zeitspanne von ca. 2 Stunden, bei Kaltfleisch waren es ca. 24 Stunden. Beim Pi-Vac-System wurde der komplette Muskel verpackt, zur anschließenden Verpackung unter MA (modified atmosphere) wurden die Muskeln in Scheiben à 2,5 cm Stärke geschnitten. Die Proben wurden 14 Tage im Pi-Vac-System und anschließend weitere 14 Tage unter MA gelagert. Die Temperatur betrug 2 °C sowohl während der Pi-Vac-Lagerung als auch während der

anschließenden Lagerung im MAP-System (modified atmosphere packaging). Allerdings wurde bei der Warmfleischverpackung die ersten zehn Stunden bei 7 °C gelagert. Bei MAP wurden zwei verschiedene Gasmischungen getestet: 80 % O₂/20 % CO₂ sowie 40 % O₂/20 % CO₂/40 % N₂. Die Proben wurden zuerst vor dem Verpacken mit dem Pi-Vac-System, nach zwei Wochen Pi-Vac-Lagerung und dann nach einer bzw. zwei Wochen zusätzlicher MAP-Lagerung analysiert (Abb. 1).

Folgende Geräte bzw. Materialien wurden verwendet:

- Pi-Vac Verpackungsmaschine: Ausführung mit 3 Verpackungsrohren unterschiedlichen Durchmessers (Pack-Man 3-Rohr-Typ); Pi-Patente GmbH, Wettenberg
- Pi-Vac-Folie: Folienschlauch (Stärke ca. 125 µm: 65 µm Metallocen PE, 8 µm Kleber, 7 µm EVOH, 8 µm Kleber, 37 µm Metallocen PE), dehnbar um 80 %, Sauerstoffdurchlässigkeit 50 cm³ pro m² in 24h bei 100 % Sauerstoff und 1 bar Druckdifferenz; verwendeter Folienschlauch: Größe 2,5, Durchmesser ca. 71 mm; Pi-Patente GmbH, Wettenberg
- Druckluftbetriebene Clip-Maschine zum Verschließen der Folienschläuche: SCD-BV 600/700; Poly-clip System GmbH & Co. KG, Frankfurt
- Verpackungsmaschine (MAP): TS300; VC999 Verpackungssysteme AG, Herisau, Schweiz samt Gasmischer: KM 60-3; Witt, Witten
- MAP-Schale: PP, schwarz; VC999 Verpackungssysteme AG, Herisau, Schweiz
- MAP-Deckelfolie: PETX/PP/AF (65 µm, Antifog); VC999 Verpackungssysteme AG, Herisau, Schweiz
- Schrumpftank: mit regelbarer Wassertemperatur und Tauchzeit, mit elektrisch angetriebenen Ein- und Auslaufbändern; VC999 Verpackungssysteme AG, Herisau, Schweiz

Tier 1

| linker LD > Warmfleisch: | | rechter LD > Kaltfleisch: | |
|---|--|---------------------------|---|
| Pi-Vac-Verpackung / erste Probenahme [Beginn] | | Tag 0 | |
| | | Tag 1 | Pi-Vac-Verpackung / erste Probenahme [Beginn] |
| Auspacken / Aufschneiden / zweite Probenahme [PV] | | | Auspacken / Aufschneiden / zweite Probenahme [PV] |
| > Modified Atmosphere Packaging (MAP): • Variante 1: 80% O ₂ / 20% CO ₂ • Variante 2: 40% O ₂ / 20% CO ₂ / 40% N ₂ | | Tag 14 | > Modified Atmosphere Packaging (MAP): • Variante 1: 80% O ₂ / 20% CO ₂ • Variante 2: 40% O ₂ / 20% CO ₂ / 40% N ₂ |
| dritte Probenahme: MAP (80% O ₂ / 20% CO ₂) [PV07hi] | | Tag 21 | dritte Probenahme: MAP (80% O ₂ / 20% CO ₂) [PV07hi] |
| vierte Probenahme: MAP (80% O ₂ / 20% CO ₂) [PV14hi] fünfte Probenahme MAP: (40% O ₂ / 20% CO ₂ / 40% N ₂) [PV14lo] | | Tag 28 | vierte Probenahme: MAP (80% O ₂ / 20% CO ₂) [PV14hi] fünfte Probenahme MAP: (40% O ₂ / 20% CO ₂ / 40% N ₂) [PV14lo] |

Abb. 1: Versuchsplan für Versuch 1. Die in eckigen Klammern stehenden Abkürzungen (Beginn, PV, PV07hi, PV14hi und PV14lo) symbolisieren die fünf verschiedenen Zeitpunkte der Probenahmen bzw. Lagerungsvarianten und werden in den folgenden Tabellen entsprechend benutzt

Die nachstehenden Parameter wurden analysiert:

- Gewichtsverlust während der jeweiligen Lagerung (durch Differenzwägung des Fleisches, wobei es ggf. mittels Papiertuch äußerlich trocken getupft wurde)
- Gewichtsverlust bei der Erhitzung mittels Kontaktplattengrill bis zu einer Kerntemperatur von 70 °C (durch Differenzwägung des Fleisches, wobei es ggf. mittels Papiertuch äußerlich trocken getupft wurde)
- Sensorik (einfach beschreibende Prüfung auf Grundlage des DLG-Prüfschemas durch sechs geschulte Prüfer)
- Festigkeit (mittels Instron-Gerät 1140 (KLETTNER, 1988))
- pH-Wert (nach § 64 LFGB, L 06.00-2)
- TBARS (Thiobarbitursäure-reaktive Substanzen (BOTSOGLOU, 1994))
- COP (Cholesteroxidationsprodukte über GC/MS (Münch, 1998))
- Gasmischung (mittels CheckPoint O₂/CO₂, PBI Dansensor)
- Farbwerte (nach L*a*b*-System mittels HunterLab-Gerät Color-Quest, Konica Minolta)
- GKZ (Gesamtkeimzahl; aerob, mesophil, auf Standard-I-Agar (Merck) bei 30 °C)
- MSB (Milchsäurebakterien; aerob, auf MRS-Agar (Merck) bei 25 °C)
- EB (Enterobakteriazeen; anaerob; auf VRBG-Agar (Merck) bei 30 °C)

Die Ergebnisse wurden auf Unterschiede zwischen 2 Reifungsvarianten (Warm- und Kaltfleisch bzw. Warmfleisch mit oder ohne Heißwasserbehandlung), 4-5 Lagerungsvarianten und 4 Einzeltieren mit einer 3-faktoriellen Varianzanalyse nach dem Allgemeinen Linearen Modell getestet (engl. Generalized Linear Model, GLM). Die Berechnungen erfolgten mit SAS 9.3 (SAS Institute, Cary NC, USA). Die Effekte der drei Hauptfaktoren wurden ohne Interaktionen getestet, werden aber nur für Reifungs- und Lagerungsvarianten dargestellt. Die Einzeltiere hatten mehrfach einen Effekt, der aber nicht dargestellt wird. Dieser Einzeltier-Effekt stellt für die vorliegende Untersuchung lediglich eine zu berücksichtigende Varianzquelle dar. Zusätzlich wurden Unterschiede zwischen den beiden Reifungsvarianten Warm- und Kaltfleisch zu Beginn des Versuches separat mit einem 2-faktoriellen GLM getestet (ohne Darstellung von evtl. Unterschieden zwischen Einzeltieren).

Ergebnisse und Diskussion

Die Pi-Vac-Verpackungsmaschine stellt ein ausgereiftes Gerät dar und kann von einem geübten Verpacker relativ einfach bedient werden, vorausgesetzt das Innere des Schlauches wurde ausreichend angefeuchtet. Das gilt auch für klebriges, schlachtwarmes Rindfleisch, das auf diese Weise relativ leicht in den Folienschlauch eingebracht werden kann.

Die pH-Werte lagen beim frisch geschlachteten, noch nicht durchgekühlten Fleisch (Tag 0) zwischen 5,88 und 6,39 und beim gekühlten Fleisch (ab Tag 1 bis Tag 28) zwischen 5,37 und 5,64 und damit im üblichen Bereich.

Da die erste Probenahme bei Warmfleisch ('Beginn') stets direkt nach dem Schlachten und damit einen Tag früher als bei Kaltfleisch erfolgte, wurden die hier ermittelten Werte separat auf eine signifikante Differenz geprüft. Die Ergebnisse der weiteren vier Untersuchungen wurden jeweils für Warm- bzw. Kaltfleisch zusammengefasst, um etwaige signifikante Unterschiede zwischen Warm- und Kaltfleisch herauszufinden. Die Anfangsuntersuchung zeigte bei Warmfleisch einen signifikant niedrigeren Grillverlust, beim Mittelwert der weiteren Lagerungsvarianten war dies nicht der Fall. Allerdings lagen die Gewichtsverluste beim Erhitzen mittels Kontaktplattengrill bei Warmfleisch für die einzelnen Lagerungsvarianten immer niedriger als bei Kaltfleisch (Versuch 1, Tab. 1).

Zudem wies Warmfleisch auch während der Pi-Vac-Lagerung mit 2,8 % einen deutlich kleineren Gewichtsverlust auf als Kaltfleisch mit 9,4 % (Mittelwerte; n=2; Werte nicht tabellarisch dargestellt). Im Verlauf der anschließenden MAP-Lagerung verlor Warmfleisch dagegen mit 1,9 % etwas mehr an Gewicht als Kaltfleisch mit 1,4 % (Mittelwerte; n=4; Werte nicht tabellarisch dargestellt). Ein möglicher weiterer Gewichtsverlust durch Verdunstung bzw. Abtrocknung durch die Kühlung der unverpackten Schlachtkörper bzw. Teilstücke bei Kaltfleisch wurde hier nicht ermittelt.

In der rechten Spalte (Tab. 1) wurden alle Resultate von Warm- und Kaltfleisch zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt gemittelt (Ausnahme 'Beginn': s.o.), um Unterschiede zwischen den Lagerungsvarianten herauszufinden. Die Proben nach insgesamt vierwöchiger Lagerung (zwei Wochen Pi-Vac und zwei Wochen in verschiedenen MAP) zeigten signifikant höhere Grillverluste als die nach zweiwöchiger Pi-Vac-Lagerung.

Tab. 1: Grillverluste [%] von Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Beginn | 19,2 ^B (1,9) | 25,1 ^A (0,8) | - |
| PV | 17,0 (1,6) | 19,7 (4,7) | 18,4 ^b (3,8) |
| PV07hi | 21,6 (6,2) | 23,8 (4,2) | 22,7 ^{ab} (5,4) |
| PV14hi | 24,9 (4,4) | 25,8 (2,0) | 25,4 ^a (3,4) |
| PV14lo | 22,1 (4,4) | 25,8 (1,8) | 24,0 ^a (3,8) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | 21,4 ^A (5,3) | 23,8 ^A (4,2) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Bei Versuch 2 waren zwischen Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung keine signifikanten Differenzen beim Grillverlust festzustellen (Tab. 2). Mit Ausnahme der Werte zu 'Beginn' wies Warmfleisch ohne Heißwasserbehandlung jedoch immer kleinere Grillverluste auf. Auch während der Pi-Vac-Lagerung (2,1 zu 2,5 %) und im Verlauf der MAP-Lagerung (1,5 zu 1,7 %) zeigte Warmfleisch ohne Heißwasserbehandlung stets geringere Verluste (Mittelwerte; jeweils n=4; Werte nicht tabellarisch dargestellt). Beim Vergleich der Mittelwerte der verschiedenen Lagerungsvarianten wurden keine signifikanten Differenzen festgestellt.

Tab. 2: Grillverluste [%] von Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Beginn | 21,1 (3,4) | 19,6 (2,1) | 20,4 ^a (3,0) |
| PV | 16,7 (4,1) | 20,6 (4,3) | 18,7 ^a (4,6) |
| PV07hi | 19,8 (5,0) | 22,8 (3,4) | 21,3 ^a (4,5) |
| PV14hi | 18,0 (3,2) | 18,3 (2,9) | 18,2 ^a (3,0) |
| PV14lo | 18,7 (3,0) | 21,9 (3,2) | 20,3 ^a (3,5) |
| Mittelwert | 18,9 ^A (4,1) | 20,6 ^A (3,6) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Bei den mikrobiologischen Parametern Gesamtkeimzahl und Milchsäurebakterien ergaben sich mittels Vergleich der entsprechenden Mittelwerte nie signifikante Unterschiede zwischen Warm- und Kaltfleisch, weder zu 'Beginn' noch bei den weiteren Untersuchungszeitpunkten (Versuch 1, Tab. 3). Ähnliches gilt auch bei Versuch 2 für Warmfleisch ohne bzw. mit Heißwasserbehandlung (Tab. 4).

Im Verlauf der jeweils vierwöchigen Lagerung waren in beiden Versuchen deutliche Veränderungen der Keimzahlen bei Milchsäurebakterien und der Gesamtkeimzahl festzustellen. Allerdings waren während der zweiwöchigen Pi-Vac-Lagerung keine signifikanten Unterschiede ersichtlich (Versuch 2). Dagegen war bei beiden Versuchen eine signifikante Erhöhung der Werte nach einer Woche zusätzlicher MAP-Lagerung zu verzeichnen. Das gleiche galt auch nach einer weiteren Woche MAP-Lagerung, unabhängig davon, ob in 40- oder 80-prozentiger Sauerstoffatmosphäre verpackt worden war. Insgesamt betrachtet war der mikrobiologische Status in allen Fällen unauffällig; Enterobakteriäzen waren nicht nachweisbar.

Betrachtet man die Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -System) in Versuch 1, wies Warmfleisch zu 'Beginn' bei allen drei Parametern stets signifikant niedrigere Werte auf als Kaltfleisch (Tab. 5). Durch Vergleich der Mittelwerte der weiteren Untersuchungszeitpunkte ergaben sich bei Warmfleisch signifikant höhere Zahlen bei L^* - und b^* -Wert; beim a^* -Wert (Rot-Wert) gab es dagegen

keine signifikanten Unterschiede. Im Verlauf der vierwöchigen Lagerung zeigten sich in Versuch 1 bei allen Parametern signifikante Veränderungen. Bei L^* - und b^* -Wert stellte man eine signifikante Erhöhung der Werte fest zwischen dem Ende der Pi-Vac-Lagerung ('PV') und einer ein- oder zweiwöchigen MAP-Lagerung. Die höchsten $L^*a^*b^*$ -Werte in Versuch 1 (Tab. 5) erkennt man stets nach einer einwöchigen Lagerung in sauerstoffreicher Atmosphäre ('PV07hi'). Hinsichtlich des a^* -Wertes waren bei Verpackung in 80-prozentigem Sauerstoff die größten Zahlen zu finden ('PV07hi' und 'PV14hi'), eine 40-prozentige Sauerstoffatmosphäre führte dagegen zum kleinsten Wert ('PV14lo').

Durch eine alternative Heißwasserbehandlung von Warmfleisch (Versuch 2) ergaben sich – mittels Vergleich der Mittelwerte aller Untersuchungszeitpunkte – hinsichtlich der $L^*a^*b^*$ -Werte bei keinem Parameter signifikante Unterschiede zu den Proben, die nicht mit Heißwasser behandelt wurden (Tab. 6). Wenn man den Verlauf der vierwöchigen Lagerung betrachtet, waren bei allen Parametern signifikante Veränderungen ersichtlich. Die jeweils höchsten Werte bei allen Parametern waren nach einwöchiger Lagerung in 80-prozentigem Sauerstoff zu finden. Sehr niedrige Werte waren jeweils zu 'Beginn', beim a^* -Wert auch nach zweiwöchiger Lagerung in 40-prozentiger Sauerstoffatmosphäre ('PV14lo') erkennbar.

Tab. 3: Logarithmierte Keimzahlen von Enterobakteriäzen (EB) und Milchsäurebakterien (MSB) sowie Gesamtkeimzahl (GKZ) in Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | EB | | GKZ | | | MSB | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert |
| Beginn | < 1 | < 1 | 1,8 ^A (0,7) | 1,0 ^A (0) | - | 1,2 ^A (0,3) | 1,0 ^A (0) | - |
| PV | < 1 | < 1 | 2,1 (0,3) | 1,5 (0,5) | 1,8 ^C (0,5) | 1,5 (0,5) | 1,5 (0,5) | 1,5 ^C (0,5) |
| PV07hi | < 1 | < 1 | 3,5 (0,5) | 3,5 (1,1) | 3,5 ^B (0,9) | 3,0 (0,3) | 3,0 (0,9) | 3,0 ^B (0,7) |
| PV14hi | < 1 | < 1 | 5,1 (0,4) | 5,1 (0,6) | 5,1 ^A (0,5) | 4,4 (0,8) | 4,4 (0,5) | 4,4 ^A (0,7) |
| PV14lo | < 1 | < 1 | 5,1 (0,6) | 5,5 (0,3) | 5,3 ^A (0,5) | 3,7 (1,3) | 4,6 (0,4) | 4,2 ^A (1,1) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | - | - | 4,0 ^A (1,4) | 3,9 ^A (1,7) | - | 3,2 ^A (1,4) | 3,3 ^A (1,4) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b/c: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); Abkürzungen wie in Abb. 1;

Tab. 4: Logarithmierte Keimzahlen von Enterobacteriaceen (EB) und Milchsäurebakterien (MSB) sowie Gesamtkeimzahl (GKZ) in Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | EB | | GKZ | | MSB | |
|------------|--------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | ohne Heißsw. | mit Heißsw. | ohne Heißsw. | mit Heißsw. | ohne Heißsw. | mit Heißsw. |
| Beginn | < 1 | < 1 | 2,2 (0,2) | 2,1 (0,2) | 1 (0) | 1,1 (0,1) |
| PV | < 1 | < 1 | 2,1 (0,4) | 2,0 (0,8) | 1,2 (0,3) | 1,1 (0,2) |
| PV07hi | < 1 | < 1 | 4,4 (1,3) | 4,3 (0,6) | 3,3 (1,6) | 3,4 ^b (1,2) |
| PV14hi | < 1 | < 1 | 5,8 (0,5) | 6,3 (0,5) | 4,9 (0,9) | 5,1 ^a (0,9) |
| PV14lo | < 1 | < 1 | 6,0 (0,7) | 6,2 (0,6) | 5,1 (0,8) | 5,3 ^a (0,8) |
| Mittelwert | - | - | 4,1 ^A (1,8) | 4,2 ^A (2,0) | 3,1 ^A (2,0) | 3,3 ^A (2,1) |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b/c: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 5: Farbwerte (L*a*b*) von Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | L* | | a* | | b* | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Warmfleisch | Kaltfleisch | Warmfleisch | Kaltfleisch |
| Beginn | 33,2 ^B (0,7) | 37,6 ^A (1,4) | 15,1 ^B (1,3) | 19,9 ^A (0,6) | 2,8 ^B (0,6) | 6,5 ^A (0,7) |
| PV | 40,9 (0,7) | 40,4 (0,5) | 21,4 (0,9) | 20,8 (0,5) | 9,1 (0,5) | 8,7 (0,2) |
| PV07hi | 44,1 (0,9) | 43,5 (0,9) | 25,5 (1,7) | 24,5 (1,1) | 13,1 (0,9) | 12,7 (0,5) |
| PV14hi | 44,2 (1,3) | 43,4 (2,0) | 22,4 (3,1) | 22,2 (2,6) | 12,2 (1,1) | 12,1 (1,3) |
| PV14lo | 43,6 (1,3) | 43,0 (1,0) | 21,2 (2,4) | 17,6 (3,3) | 11,7 (0,9) | 10,7 (1,1) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | 43,2 ^A (1,7) | 42,6 ^B (1,8) | 22,6 ^A (2,8) | 21,3 ^A (3,3) | 11,5 ^A (1,7) | 11,1 ^B (1,8) |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 6: Farbwerte (L*a*b*) in Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | L* | | a* | | b* | |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | ohne Heißsw. | mit Heißsw. | ohne Heißsw. | mit Heißsw. | ohne Heißsw. | mit Heißsw. |
| Beginn | 33,3 (1,1) | 33,2 (1,5) | 17,1 (1,6) | 16,4 (1,2) | 3,6 (0,9) | 3,3 (0,7) |
| PV | 39,0 (0,7) | 40,1 (0,9) | 22,1 (0,8) | 22,5 (1,3) | 9,0 (0,5) | 9,4 (1,0) |
| PV07hi | 44,3 (0,9) | 44,1 (1,3) | 27,4 (1,9) | 27,0 (2,1) | 14,3 (1,1) | 14,1 (1,4) |
| PV14hi | 42,2 (0,7) | 42,9 (1,1) | 20,9 (4,7) | 20,5 (5,0) | 12,1 (1,5) | 12,3 (1,5) |
| PV14lo | 42,6 (1,1) | 40,7 (2,7) | 16,1 (4,1) | 16,2 (4,1) | 10,6 (0,7) | 11,0 (0,5) |
| Mittelwert | 40,3 ^A (4,0) | 40,2 ^A (4,1) | 20,7 ^A (5,0) | 20,5 ^A (5,1) | 9,9 ^A (3,8) | 10,0 ^A (3,9) |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 7: Festigkeit [N] von Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Beginn | 120,1 ^A (23,7) | 96,4 ^A (16,1) | - |
| PV | 40,3 (12,5) | 41,2 (16,6) | 40,8 ^a (14,7) |
| PV07hi | 37,7 (7,9) | 47,1 (8,6) | 42,2 ^a (9,5) |
| PV14hi | 36,1 (2,6) | 46,4 (10,2) | 41,3 ^a (9,1) |
| PV14lo | 36,5 (6,1) | 41,3 (8,6) | 38,9 ^a (7,8) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | 37,6 ^B (8,3) | 44,0 ^A (11,8) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 8: Festigkeit [N] in Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert |
|------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Beginn | 127,4 (15,8) | 118,6 (21,2) | 123,0 ^a (19,2) |
| PV | 37,6 (7,2) | 37,5 (11,7) | 37,5 ^b (9,8) |
| PV07hi | 39,8 (6,2) | 41,6 (6,7) | 40,7 ^b (6,5) |
| PV14hi | 42,7 (0,0) | 44,7 (7,7) | 43,7 ^b (9,0) |
| PV14lo | 40,2 (10,6) | 42,3 (9,4) | 41,3 ^b (10,1) |
| Mittelwert | 57,5 ^A (36,5) | 57,0 ^A (33,4) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); Abkürzungen wie in Abb. 1

Die Festigkeitswerte verbesserten sich während der zweiwöchigen Pi-Vac-Lagerung stark, was sowohl für Warm- und Kaltfleisch aus Versuch 1 (Tab. 7) wie auch für beide Warmfleischvarianten aus Versuch 2 (Tab. 8) galt. In Versuch 2 konnten zwischen dem Anfangswert und jedem der vier weiteren Werte der vierwöchigen Lagerung signifikant verbesserte Zahlen festgestellt werden. Zwischen den beiden Warmfleischvarianten aus Versuch 2 ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Während der MAP-Lagerung wurde im Fall von Kaltfleisch bei Versuch 1 (Tab. 7) sowie bei beiden Warmfleischvarianten aus Versuch 2 (Tab. 8) eine leichte Erhöhung der Werte festgestellt. Im Gegensatz dazu verringerten sich die Festigkeitswerte während der MAP-Lagerung bei Warmfleisch aus Versuch 1 etwas. In Versuch 1 zeigte sich durch den Vergleich der Mittelwerte der weiteren vier Lagerungsvarianten bei Warmfleisch ein signifikant niedrigerer (d.h. besserer) Wert als bei Kaltfleisch. Das konnte auch sensorisch untermauert werden (Tab. 9, Zartheit). Zu 'Beginn' waren in Versuch 1 dagegen keine signifikanten Differenzen zwischen Warm- und Kaltfleisch ersichtlich.

Tab. 9: Sensorische Bewertung (Saftigkeit, Zartheit, Aroma) von Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | Saftigkeit | | | Zartheit | | | Aroma | | |
|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert |
| Beginn | 4,6 ^A (0,6) | 4,6 ^A (0,1) | - | 1,7 ^B (0,4) | 2,4 ^A (0,3) | - | 3,9 ^B (0,1) | 4,3 ^A (0,2) | - |
| PV | 5,4 (0,3) | 4,6 (0,2) | 5,0 ^{ab} (0,5) | 5,4 (0,6) | 4,5 (0,8) | 4,9 ^a (0,8) | 4,0 (0,4) | 4,3 (0,1) | 4,1 ^a (0,3) |
| PV07hi | 4,3 (0,4) | 4,1 (0,6) | 4,2 ^c (0,5) | 5,0 (0,7) | 4,6 (0,5) | 4,8 ^a (0,7) | 2,4 (0,4) | 2,4 (0,4) | 2,4 ^b (0,4) |
| PV14hi | 4,3 (0,6) | 4,3 (0,5) | 4,3 ^{bc} (0,6) | 4,9 (0,7) | 4,7 (0,7) | 4,8 ^a (0,7) | 2,0 (0,6) | 2,0 (0,7) | 2,0 ^b (0,7) |
| PV14lo | 5,1 (0,5) | 5,0 (0,5) | 5,0 ^a (0,5) | 5,2 (0,5) | 4,9 (0,5) | 5,0 ^a (0,5) | 2,1 (0,7) | 1,7 (0,4) | 1,9 ^b (0,6) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | 4,8 ^A (0,7) | 4,5 ^A (0,6) | - | 5,1 ^A (0,7) | 4,7 ^B (0,7) | - | 2,6 ^A (1,0) | 2,6 ^A (1,1) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, p<0,05); beste Bewertung: 6, schlechteste Bewertung: 1; Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 10: Sensorische Bewertung (Saftigkeit, Zartheit, Aroma) von Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | Saftigkeit | | | Zartheit | | | Aroma | | |
|------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert |
| Beginn | 5,2 (0,2) | 5,3 (0,2) | 5,3 ^{ab} (0,2) | 2,1 (0,2) | 2,2 (0,8) | 2,1 ^b (0,6) | 4,0 (0,2) | 4,1 (0,3) | 4,0 ^a (0,2) |
| PV | 5,8 (0,1) | 5,5 (0,3) | 5,6 ^a (0,3) | 5,6 (0,4) | 5,2 (0,6) | 5,4 ^a (0,5) | 3,7 (0,7) | 4,1 (0,4) | 3,9 ^a (0,6) |
| PV07hi | 5,7 (0,3) | 5,5 (0,5) | 5,6 ^{ab} (0,4) | 5,7 (0,2) | 5,2 (0,8) | 5,4 ^a (0,7) | 3,0 (1,3) | 3,1 (1,1) | 3,1 ^b (1,2) |
| PV14hi | 5,3 (0,4) | 5,1 (0,5) | 5,2 ^b (0,4) | 5,1 (0,7) | 5,0 (0,6) | 5,0 ^a (0,6) | 2,6 (0,4) | 2,7 (0,2) | 2,7 ^b (0,3) |
| PV14lo | 5,6 (0,2) | 5,5 (0,2) | 5,5 ^{ab} (0,2) | 5,4 (0,4) | 5,3 (0,3) | 5,3 ^a (0,4) | 2,5 (0,3) | 2,8 (0,5) | 2,6 ^b (0,4) |
| Mittelwert | 5,5 ^A (0,3) | 5,4 ^A (0,4) | - | 4,8 ^A (1,4) | 4,5 ^A (1,4) | - | 3,2 ^A (0,9) | 3,3 ^A (0,8) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); beste Bewertung: 6, schlechteste Bewertung: 1; Abkürzungen wie in Abb. 1

Die sensorische Bewertung der Proben erfolgte anhand der Parameter Saftigkeit, Zartheit und Aroma. In Versuch 1 war hinsichtlich der Saftigkeit weder zu 'Beginn', noch durch den Vergleich der Mittelwerte der weiteren Lagerungsvarianten ein signifikanter Unterschied zwischen Warm- und Kaltfleisch erkennbar, wenngleich Warmfleisch durchgehend etwas höhere (bessere) oder zumindest gleiche Werte besaß (Tab. 9).

Bei der Zartheit wies Kaltfleisch zu 'Beginn' signifikant höhere Werte auf, im Mittel der weiteren Untersuchungen zeigte Warmfleisch dagegen eine signifikant bessere Zartheit, was sich mit den Ergebnissen der Festigkeitsmessung (Tab. 7) deckte. Zwischen den Lagerungsvarianten (ohne 'Beginn') waren keine signifikanten Differenzen ersichtlich, die Zartheit verbesserte sich jedoch erheblich während der Pi-Vac-Lagerung.

Beim Aroma zeigte Kaltfleisch anfangs signifikant höhere Werte, im Mittel der weiteren Analysen waren keine wesentlichen Unterschiede vorhanden. Betrachtet man den Verlauf der Lagerung, waren bei der Pi-Vac-Lagerung signifikant höhere Werte als bei allen MAP-Varianten zu finden.

Zwischen den Warmfleischvarianten von Versuch 2 (Tab. 10) wurden keine signifikanten Differenzen bei Saftigkeit, Zartheit oder Aroma festgestellt. Die Zartheit ver-

besserte sich während der Pi-Vac-Lagerung signifikant, im weiteren Verlauf der (MAP-)Lagerung wurden dagegen keine signifikanten Abweichungen registriert (Tab. 10). Das Aroma wurde während der zweiwöchigen Pi-Vac-Lagerung signifikant besser bewertet als während der folgenden MAP-Lagerung, was für beide Sauerstoffkonzentrationen und die verschiedenen MAP-Lagerzeiträume galt (Tab. 10).

Hinsichtlich der TBARS-Gehalte ergaben sich zwischen Warm- und Kaltfleisch (Versuch 1, Tab. 11) wie auch zwischen Warmfleisch mit oder ohne Heißwasserbehandlung (Versuch 2, Tab. 12) keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 11: Malondialdehydkonzentrationen [mg/kg Probe] in Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | Warmfleisch | Kaltfleisch | Mittelwert |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Beginn | 0,037 ^A (0,015) | 0,036 ^A (0,007) | - |
| PV | 0,118 (0,046) | 0,078 (0,031) | 0,098 ^c (0,044) |
| PV07hi | 0,737 (0,200) | 0,791 (0,213) | 0,764 ^b (0,208) |
| PV14hi | 1,806 (0,270) | 1,914 (0,222) | 1,860 ^a (0,253) |
| PV14lo | 1,698 (0,320) | 1,819 (0,228) | 1,759 ^a (0,304) |
| Mittelwert (ohne Beginn) | 1,090 ^A (0,736) | 1,151 ^A (0,784) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b/c: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); Abkürzungen wie in Abb. 1

Tab. 12: Malondialdehydkonzentrationen [mg/kg Probe] in Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließende Lagerung in MAP)

| | ohne Heißw. | mit Heißw. | Mittelwert |
|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Beginn | 0,028 (0,004) | 0,033 (0,001) | 0,030 ^c (0,004) |
| PV | 0,142 (0,061) | 0,122 (0,057) | 0,132 ^c (0,060) |
| PV07hi | 0,985 (0,537) | 0,989 (0,480) | 0,987 ^b (0,510) |
| PV14hi | 1,710 (0,779) | 1,696 (0,738) | 1,703 ^a (0,759) |
| PV14lo | 1,589 (0,756) | 1,619 (0,669) | 1,604 ^a (0,714) |
| Mittelwert | 0,891 ^A (0,888) | 0,892 ^A (0,865) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b/c: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); Abkürzungen wie in Abb. 1

Während der Lagerung war bei den Versuchen 1 und 2 jeweils eine kontinuierliche Erhöhung der Werte zu verzeichnen, die nach zwei Wochen im Pi-Vac-Schlauch moderat ausfiel. Dagegen war bereits nach einer weiteren Woche Lagerung in MAP mit 80 Prozent Sauerstoff in beiden Versuchen ein signifikanter Anstieg der Konzentrationen an Malondialdehyd festzustellen. Im Vergleich dazu wurde nach zweiwöchiger MAP-Lagerung – unabhängig von der Sauerstoffkonzentration – stets eine weitere signifikante Steigerung der TBARS-Gehalte analysiert. Zwischen den Varianten 40- und 80-prozentige Sauerstoffkonzentration in der Verpackung war in allen Fällen kein signifikanter Unterschied nach zwei Wochen MAP-Lagerung zu erkennen, allerdings lagen die mittleren Gehalte bei der größeren Sauerstoffkonzentration immer höher (Tab. 11 und 12). Während der insgesamt vierwöchigen Lagerungszeit stiegen die Gehalte an MDA (Malondialdehyd) stets stark an und erhöhten sich im jeweiligen Maximalfall um Faktoren zwischen 48 und 61.

Zwischen Warm- und Kaltfleisch (Versuch 1, Tab. 13) sowie zwischen Warmfleisch ohne bzw. mit Heißwasserbehandlung (Versuch 2, Tab. 14) ergaben sich jeweils keine signifikanten Differenzen in Bezug auf die Konzentrationen der verschiedenen COP. Die analysierten Gehalte der verschiedenen COP veränderten sich während der zweiwöchigen Pi-Vac-Lagerung in allen Fällen (Warm-, Kaltfleisch; mit bzw. ohne Heiß-

wasserbehandlung; Versuch 1 bzw. 2, Tab. 13 bzw. 14) jeweils nur moderat. Demgegenüber erhöhten sich die Konzentrationen während der anschließenden zweiwöchigen MAP-Lagerung erheblich und stets signifikant. Im Maximalfall (7 β -Diol) stiegen die Gehalte zwischen 'Beginn' und 'PV14hi' bis zu einem Faktor von etwa 40 an. TBARS- und COP-Werte verhielten sich somit vergleichbar während der Pi-Vac- und MAP-Lagerung.

Der starke Anstieg der Gehalte an TBARS und COP während der Lagerung unter sauerstoffreicher Atmosphäre könnte auch dem üblichen exponentiellen Reaktionsverlauf von Oxidationsreaktionen (Radikalkettenreaktion) geschuldet sein. Demzufolge wäre während der Pi-Vac-Lagerung nur deshalb eine geringe (nicht signifikante) Erhöhung der Werte festgestellt worden, weil sie (zufällig) in die Induktionsphase fiel. Somit wären Rückschlüsse auf Unterschiede in den Lagerungsvarianten nicht zulässig. Andererseits war die Gaszusammensetzung im Schlauch (von der Umgebungsluft ausgehend) nach Ende der Pi-Vac-Lagerung deutlich verändert, da die Sauerstoffkonzentration nur noch zwischen 0,8 und 3,4 % betrug, während der Kohlendioxidgehalt auf Werte zwischen 18,9 und 27,8 % angestiegen war. Dieser Sachverhalt hat sicherlich dazu beigetragen, dass die Oxidationsneigung während der Pi-Vac-Lagerung deutlich geringer ausfiel als während der MAP-Lagerung. Auch der Anteil der Oberfläche der Proben, die mit Sauerstoff in Berührung kommen kann, lag bei Pi-Vac wesentlich niedriger als bei MAP. Betrachtet man das Verhältnis zwischen Oberfläche und Gewicht der Proben, wird der Vorteil bei Pi-Vac noch deutlicher, denn bei MAP wurden einzelne Scheiben verwendet. Doch insbesondere das Verhältnis von Sauerstoffvolumen zum Probengewicht und der hohe Sauerstoffanteil mit 40 bzw. 80 % dürften für den starken Anstieg der COP- und TBARS-Konzentrationen während der MAP-Lagerung verantwortlich oder zumindest förderlich gewesen sein.

Tab. 13: Gehalte verschiedener COP [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Probe] in Warm- und Kaltfleisch bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließender zweiwöchiger MAP-Lagerung)

| | 7 α -Diol | | | 7 β -Diol | | | β -Epoxyd | | | α -Epoxyd | | | 7-Keto | | |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | WF | KF | MW | WF | KF | MW | WF | KF | MW | WF | KF | MW | WF | KF | MW |
| Beginn | 43 ^A (14) | 51 ^A (26) | - | 62 ^A (17) | 62 ^A (18) | - | 66 ^A (28) | 49 ^A (14) | - | 55 ^A (10) | 50 ^A (7) | - | 646 ^A (98) | 729 ^A (285) | - |
| PV | 59 (10) | 50 (11) | 54 ^b (12) | 107 (14) | 85 (22) | 94 ^b (21) | 43 (5) | 44 (22) | 43 ^b (16) | 49 (7) | 46 (4) | 49 ^b (6) | 539 (134) | 681 (213) | 591 ^b (192) |
| PV14hi | 1045 (264) | 948 (238) | 997 ^a (256) | 1877 (286) | 1681 (293) | 1779 ^a (306) | 322 (177) | 259 (137) | 291 ^a (161) | 333 (74) | 285 (58) | 309 ^a (71) | 4458 (1230) | 4064 (1153) | 4261 ^a (1208) |
| MW (ohne Beginn) | 551 ^A (528) | 499 ^A (479) | - | 991 ^A (908) | 882 ^A (825) | - | 183 ^A (190) | 152 ^A (148) | - | 192 ^A (152) | 166 ^A (127) | - | 2486 ^A (2153) | 2365 ^A (1892) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); Abkürzungen wie in Abb. 1; WF: Warmfleisch, KF: Kaltfleisch, MW: Mittelwert

Tab. 14: Gehalte verschiedener COP [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Probe] in Warmfleisch mit und ohne Heißwasserbehandlung bei unterschiedlichen Lagerungsvarianten (Pi-Vac sowie anschließender zweiwöchiger MAP-Lagerung)

| | 7 α -Diol | | | 7 β -Diol | | | β -Epoxyd | | | α -Epoxyd | | | 7-Keto | | |
|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | oH | mH | MW | oH | mH | MW | oH | mH | MW | oH | mH | MW | oH | mH | MW |
| Beginn | 27 (4) | 30 (8) | 28 ^b (6) | 37 (6) | 40 (9) | 38 ^b (8) | 23 (24) | 25 (18) | 24 ^{ab} (21) | 22 (7) | 27 (15) | 24 ^b (12) | 209 (46) | 199 (39) | 204 ^b (43) |
| PV | 26 (18) | 27 (21) | 26 ^b (20) | 70 (42) | 57 (38) | 64 ^b (41) | 3 (5) | 4 (5) | 3 ^b (5) | 34 (12) | 32 (10) | 33 ^b (11) | 315 (147) | 290 (149) | 303 ^b (149) |
| PV14hi | 682 (397) | 752 (344) | 717 ^a (373) | 1565 (661) | 1519 (592) | 1542 ^a (628) | 86 (175) | 90 (117) | 88 ^a (149) | 321 (145) | 321 (143) | 321 ^a (144) | 2424 (975) | 2432 (903) | 2428 ^a (940) |
| MW | 245 ^A (385) | 269 ^A (395) | - | 557 ^A (809) | 539 ^A (773) | - | 37 ^A (108) | 40 ^A (78) | - | 126 ^A (162) | 127 ^A (161) | - | 983 ^A (1168) | 973 ^A (1160) | - |

Mittelwerte sowie Standardabweichungen (in Klammern); A/B, a/b: signifikante Unterschiede zwischen Gruppen mit ungleichen Buchstaben (GLM, $p < 0,05$); Abkürzungen wie in Abb. 1; oH: ohne Heißwasserbehandlung, mH: mit Heißwasserbehandlung, MW: Mittelwert

Schlussfolgerung

Das Pi-Vac-Verpackungssystem bot bei zweiwöchiger Lagerung die Möglichkeit Warmfleisch vorteilhaft zu reifen. Unter anderem durch die Minimierung der Aussaftungs- bzw. Gewichtsverluste während der Pi-Vac-Lagerung sowie beim Erhitzen erschien das Gesamtsystem wirtschaftlich durchaus interessant und stellt somit eine attraktive Alternative zu herkömmlichen Konzepten dar. Ein direkter Vergleich zwischen dem Pi-Vac-Verpackungssystem (Warmfleisch) und der üblicherweise angewandten Vakuumreifung (Kaltfleisch) wäre im Anschluss an diese Versuche durchzuführen, auch wenn in diesem Fall zwei Parameter gleichzeitig verändert sind.

Die anschließende Lagerung unter modifizierter, sauerstoffreicher Atmosphäre führte jedoch zu nachteiligen Effekten, was Oxidationswerte (TBARS, COP), Sensorik (Aroma) sowie mikrobiologische Parameter betraf. Die beschriebenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lagerung von

Frischfleisch in sauerstoffreicher Atmosphäre für die deutlich ungünstigeren Aromabewertungen verantwortlich war. Das wird gestützt durch die Beobachtung, dass während dieser Lagerung die Gehalte an TBARS und COP erheblich anstiegen. Die Werte betreffend Festigkeit und Zartheit ließen dagegen oft keine Verbesserungen erkennen, was aufgrund der verdoppelten Reifezeit durch die MAP-Lagerung vorstellbar gewesen wäre. Auch durch eine Reduzierung der Sauerstoff-Konzentration während der MAP-Lagerung konnten obige Sachverhalte kaum verbessert werden.

Eine kurzzeitige Heißwasserbehandlung von Warmfleisch zeitigte insbesondere hinsichtlich der mikrobiologischen Parameter Gesamtkeimzahl und Milchsäurebakterien keine signifikanten Unterschiede zu unbehandelten Proben. Auch bei allen anderen untersuchten Parametern (Grillverlust, Farbwerte, Festigkeit, Sensorik, TBARS und COP) waren keine signifikanten Differenzen zu verzeichnen, sodass sich diese Variante als nicht sinnvoll erwies. Dies könnte sich

jedoch im Falle eines weniger günstigen mikrobiologischen Status von Frischfleisch durchaus auch anders darstellen.

Die ermittelten Ergebnisse sollten durch weitere Untersuchungen zusätzlich validiert bzw. die aufgezeigten Tendenzen durch höhere Probenzahlen untermauert werden.

Danksagung

Der Fa. Pi-Patente wird für die Bereitstellung der Pi-Vac Verpackungsmaschine, der Pi-Vac-Folie und der Clip-Maschine gedankt sowie der Fa. VC999 dafür, dass der Schrumpftank zur Verfügung gestellt wurde.

Herrn Dr. Michael Judas (MRI Kulmbach) wird für die Durchführung der statistischen Berechnungen gedankt.

Literatur

Botsoglou, N.A., Fietouris, D.S., Papageorgiou, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J., Trakantellis, A.G. (1994): Rapid, sensitive and specific Thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and food-stuff samples. *J. Chem.* 42, 1931-1937

Hildrum, K. I.; Nilsen, B. N.; Wahlgren, M. (2002): Verbesserung der Zartheit von warm entbeintem Rindfleisch. *Fleischwirtschaft* 5, S. 114-121

Klettner, P.-G. (1988): Beziehung zwischen instrumentellen Festigkeitswerten und sensorischem Kaueindruck bei Brühwurst. *Fleischwirtschaft* 68, 1052-1054

Münch, S., Arneth, W., Grosch, W. (1998): Bildung von Oxidationsprodukten des Cholesterols in Fleisch – Abhängigkeit von Zubereitung, Behandlung und Lagerung. *Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten*, Heft 469, 93-101

Stiebing, A.; Karnitzschky, I. (1996): Neuartige Frischfleischverpackung ohne Vakuumanwendung. *Fleischwirtschaft* 11, 1087