

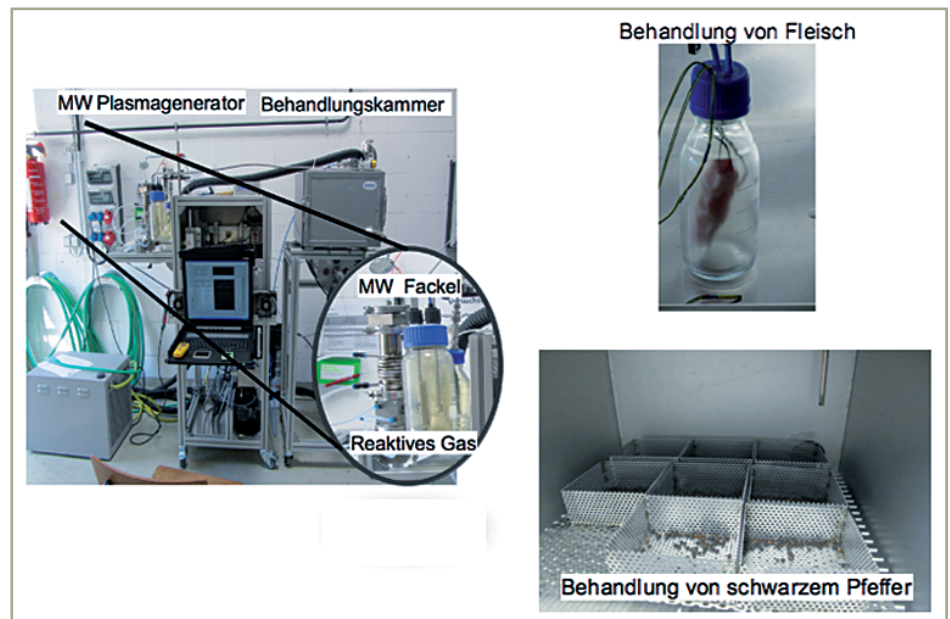
# Potentielle Anwendungsmöglichkeiten von kaltem Plasma in der Fleischverarbeitung

Antje Fröhling, Kai Reineke, Jörg Ehlbeck, Oliver Schlüter

**>>> Die mikrobiologische Sicherheit von Fleisch ist von großer Bedeutung für die Fleischindustrie. Fleisch ist einerseits leicht verderblich, reagiert aber andererseits sehr empfindlich gegenüber Entkeimungsverfahren. Daraus ergeben sich zwei grundsätzliche Anforderungen an die Dekontaminationsverfahren. Zum einen müssen die angewendeten Verfahren eine hohe Wirksamkeit gegenüber potenziell humanpathogenen Bakterien aufweisen und zum anderen darf die Produktqualität nicht beeinträchtigt werden. Aufgrund von niedrigen Behandlungstemperaturen bietet die Anwendung von kaltem Atmosphärendruckplasma eine interessante Möglichkeit zur Dekontamination von unerwünschten Mikroorganismen bei gleichzeitiger Produktschonung von Rohfleischprodukten.**

Plasmen sind energetische Gase, die aus Atomen, Molekülen, Radikalen und angeregten, geladenen Partikeln bestehen. Außerdem wird Licht im Wellenlängenbereich von Infrarot, über den sichtbaren Bereich bis hin zum UV-Bereich emittiert. Der technische Fortschritt ermöglicht eine Kontrolle der Plasmen und damit verbunden eine industrielle Anwendung, z. B. für Fernseher oder Energiesparlampen. Ein neues Feld der Plasmaanwendung ist die Dekontamination von z. B. Medizinprodukten und Lebensmitteln. Bei Plasmen wird zwischen thermischen und nicht-thermischen Plasmen unterschieden (Fridman et al., 2005; Keener, 2008; Moreau et al., 2008). Dabei haben thermische Plasmen Gastemperaturen von > 5000 K während nicht-thermische Plasmen Temperaturen < 5000 K bis hin zur Raumtemperatur aufweisen.

Die Zahl der Untersuchungen zur Plasmabehandlung von Lebensmitteln nimmt ständig zu, wobei der Hauptfokus zunächst bei der Dekontamination von Obst und Gemüse sowie deren Produkten liegt. Es konnte gezeigt werden, dass kaltes Plasma für die Entkeimung von Lebensmitteloberflächen geeignet ist, wobei die Ermittlung der Produktqualität in vielen Fällen vernachlässigt wurde. Die Effektivität der Plas-



**Abb. 1: Experimenteller Aufbau der indirekten Plasmabehandlung von Fleisch (oben rechts) oder ganzen Pfefferkörnern (unten rechts).** Grafik: Verfasser

mabehandlung ist abhängig von verschiedenen Faktoren. So hat die Art der Plasmaquelle, das verwendete Prozessgas und nicht zuletzt das zu behandelnde Produkt einen Einfluss auf den Inaktivierungserfolg. Daraus folgt, dass die Prozessparameter der Behandlung für jedes Produkt neu ausgelegt werden müssen.

Bis jetzt gibt es nur wenige Untersuchungen zur Plasmabehandlung von Fleisch. So konnte z. B. die Keimzahl von *L. monocytogenes* auf geschnittenem Schinken bzw. die Keimzahl von *E. coli*, *S. typhimurium* und *L. monocytogenes* auf Schinkenspeck durch eine Plasmabehandlung von 60–120 s bei 75–150 W reduziert werden (Song et al., 2009; Kim et al., 2011). Die Abhängigkeit des Behandlungserfolges von dem verwendeten Prozessgas wurde am Beispiel von *L. monocytogenes* auf Hähnchenbrust bzw. Hähnchenschinken gezeigt (Lee et al., 2011). Durch die Anwendung eines Atmosphärendruckplasmajets 8 min konnte eine Reduktion der Keimzahl um bis zu 4,7 log Stufen erreicht werden.

Die Nutzung von thermischen Plasmen im indirekten Modus eröffnet darüber hinaus ein neues Anwendungsfeld in der Behandlung von hitzeempfindlichen Produk-

ten. Bei der indirekten Plasmabehandlung wird das erzeugte reaktive Prozessgas in eine separate Prozesskammer geleitet. Dadurch wird die Oberflächentemperatur der

## HELE

Hygiene-, Arbeits-  
schutzkleidung und mehr...



Fordern Sie kostenlos unseren  
432-seitigen Katalog an!

HELE GmbH

Gutenbergstr. 16 · D-91560 Heilsbronn  
Tel. 09872 / 9771-0 · Fax 09872 / 9771-77  
E-Mail: info@hele.de · Internet: www.hele.de

Produkte unter 50 °C gehalten (Ehlbeck et al., 2011) und die reaktiven Spezies (z. B. Radikale, Ionen) im Prozessgas ermöglichen eine Dekontamination von Lebensmitteloberflächen. Der Vorteil der indirekten Plasmabehandlung ist der größere Produktdurchsatz bei gleichzeitig geringeren Mengen an benötigtem Prozessgas und damit verbunden das Potenzial zur industriellen Anwendung. Die Wirkung von indirektem Plasma auf verpacktem „ready-to-eat“ Fleisch konnte bereits nachgewiesen werden (Rød et al., 2012). Hierbei wurde das Potenzial der Plasmaanwendung zur Dekontamination von Fleisch deutlich, jedoch wurden bei den Studien die Auswirkungen auf die Fleischqualität nicht weitreichend untersucht.

Um den Einfluss einer Plasmabehandlung auf die aerobe Gesamtkeimzahl und die Qualität von Schweinefleisch zu untersuchen, wurde Schweinelachsproben drei Tage post mortem einer indirekten Plasmabehandlung unterzogen (Abb. 1). Für die indirekte Plasmabehandlung wurde ein reaktives Prozessgas durch ein Mikrowellenplasma erzeugt und in eine separate Behandlungskammer geleitet. In diesem Verfahren wird mit Luft als Prozessgas gearbeitet, wodurch im Behandlungsgas u. a. eine Vielzahl reaktiver Sauerstoff-, Stickstoff- und Stickoxidspezies zu finden sind. Das Fleisch wurde für 2 x 2,5 min bzw. 5 x 2 min behandelt und anschließend steril verpackt. Nach der Plasmabehandlung erfolgte die Lagerung des Fleisches für bis zu 16 Tagen bei 5 °C. An definierten Tagen erfolgten die mikrobiologische Analyse sowie die Messung von Qualitätsparametern. Dabei wurden neben der Farbe und dem pH-Wert zusätzlich fluoreszenz- und reflexionsspektroskopische Messungen durchgeführt, um Veränderungen in der Fleischqualität zu bestimmen. Durch die indirekte Plasmabehandlung konnte die Haltbarkeit bezüglich der mikrobiellen Kontamination verlängert werden. Bereits die Behandlung von 2 x 2,5 min reichte aus, um die Gesamtkeimzahl über die gesamte Lagerdauer von 16 Tagen bei 5 °C bei 2 log koloniebildenden Einheiten pro Gramm (KbE/g) zu halten. Die Gesamtkeimzahl der unbehandelten Fleischproben stieg dagegen innerhalb der Lagerdauer bis auf etwa 9,7 log KbE/g an.

Der pH-Wert des Fleisches ist durch die Plasmabehandlung gesunken, was auf die Stickoxide im Plasma zurückgeführt werden kann. Im Gegensatz dazu ist der pH-Wert der unbehandelten Probe im Laufe der Lagerung aufgrund des Mikroorganismenbefalls angestiegen. Ebenso traten Farbveränderungen des Fleisches nach der Plasmabehandlung auf. Die Farbveränderungen werden auf eine Reaktion zwischen den

Plasmabestandteilen und den Muskelfarbstoffen Myoglobin, Deoxymyoglobin oder Oxymyoglobin zurückgeführt. Die Untersuchung des Fleisches mittels UV/Vis/NIR-Spektroskopie hat gezeigt, dass durch die Plasmabehandlung Metmyoglobin und Sulphyoglobin gebildet wurden, die der Grund für die Farbveränderungen sind. Fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Fluoreszenzintensitäten der aromatischen Aminosäuren und von NADH im Fleisch nach der Plasmabehandlung reduziert waren im Vergleich zu der unbehandelten Fleischprobe. In früheren Studien konnte gezeigt werden, dass Fluoreszenzsignale von Porphyrinen ein guter Indikator für Schweinefleischqualität sind, da sie proportional zum Mikroorganismenbefall ansteigen (Schneider et al., 2008; Durek et al., 2012). Die Fluoreszenzsignale von Protoporphyrin IX (PP) und Zink-Protoporphyrin (ZnPP) werden bei  $\lambda_{ex} = 420 \text{ nm}$  und  $\lambda_{em} = 550\text{--}750 \text{ nm}$  aufgenommen. Die Fluoreszenzintensität von PP und ZnPP im unbehandelten Fleisch stieg während der Lagerung von < 50 relativen Einheiten auf 500 relative Einheiten an. Durch die Plasmabehandlung blieben die Fluoreszenzsignale während der gesamten Lagerdauer unter 100 relativen Einheiten. Insgesamt führte die längere Behandlungszeit zu größeren Veränderungen im pH-Wert, in der Farbe sowie in den Fluoreszenz- und Reflexionssignalen als die kürzere Behandlungszeit.

Aufgrund der Farbveränderungen bei den verwendeten Einstellungen der Plasmabehandlung kann es zu einer verringerten Konsumentenakzeptanz kommen. Aus diesem Grund wird in weiteren Untersuchungen ermittelt, ob eine Verringerung der Behandlungsdauer zu einem geringeren Einfluss auf die Produktqualität bei gleichbleibender antimikrobieller Wirkung führt. Die Verwendung von anderen Plasmaquellen sowie anderen Prozessgasen kann außerdem helfen, die Radikalbildung zu kontrollieren und damit den Einfluss auf die Produktqualität zu minimieren. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten in der Anwendung auf der Oberfläche von Lebensmitteln.

Eine dieser Möglichkeiten stellt hier die Behandlung von trockenen Gewürzen dar. Gewürze wie beispielsweise Pfeffer oder Paprikawerden während der Produktion als Teil von Gewürzmischungen in Rohfleischprodukte eingebracht oder sind Teil einer Marinade. Gewürze können jedoch mikrobiologisch belastet sein. Auf der Oberfläche von schwarzem Pfeffer, werden z. T. Keimbelastungen von  $1 \times 10^6\text{--}1 \times 10^9 \text{ KbE/g}$  gefunden, wobei ein Großteil der Keime bakterielle Sporen sind. Diese weisen gegenüber vegetativen Zellen eine deutlich höhere

Resistenz hinsichtlich der üblichen Entkeimungsverfahren auf.

Auch hier stellt die indirekte Plasmabehandlung eine vielversprechende Alternative zu den marktüblichen Verfahren, wie der Behandlung mit Heißdampf oder der Bestrahlung, dar.

Aktuelle Untersuchungen am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie, zeigten das bakterielle Sporen auf der Oberfläche von ganzen schwarzen Pfefferkörnern innerhalb von 5 min um bis zu 1.2 log reduziert werden können. Längere Behandlungszeiten erhöhten auch hier den Inaktivierungserfolg und resultierten in einer 2.8 log Reduktion der natürlichen Sporenflora auf der Pfefferoberfläche nach einer 30 minütigen Behandlung. Die Inaktivierungsrate konnte durch ein leichtes Anfeuchten der Pfefferoberfläche (5 % H<sub>2</sub>O bezogen auf die Einwaage an trockenen Pfefferkörnern) insbesondere innerhalb der ersten Minuten stark erhöht werden. Es konnten so 2.75 log mesophile aerobe Sporen innerhalb von 5 min und bis zu 3.5 log nach 30 min inaktiviert werden.

Erste Qualitätsuntersuchungen zeigten, dass die indirekte Plasmabehandlung keinen Einfluss auf die Produktfarbe, das Produktgewicht oder die Oberflächenstruktur des behandelten Pfeffers hat. Auch der Anteil der Hauptaromakomponente im Pfeffer, Piperin, wurde nachweislich nicht reduziert. Eine Analyse der flüchtigen Aromen im Pfeffer wird in Kürze folgen.

Diese ersten vielversprechenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass Rohfleisch sowie Gewürze die Rohfleischprodukten zugesetzt werden, durch eine indirekte Plasmabehandlung schonend entkeimt werden können. Damit stellt die Plasmaentkeimung eine potentielle Möglichkeit dar die Verbrauchersicherheit zu erhöhen und gleichzeitig Ressourcen zu schonen.

Literatur bei den Verfassern. ■

---

**Antje Fröhling, Kai Reineke,  
Oliver Schlüter**

Leibniz-Institut für Agrartechnik  
Potsdam-Bornim e. V.  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam  
oschlueter@atb-potsdam.de

**Jörg Ehlbeck**

Leibniz-Institut für Plasmaforschung  
und Technologie e. V.  
Felix-Hausdorff-Straße 2  
17489 Greifswald