

Abschlussbericht

„DEALS- Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept
an Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein, Broiler und Pute“

Registriernummer: 276 03 201 000 1523

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (OG 1, Koordination)

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen (OG 2)

Schlachtbetrieb Klos (OG 3)

LOHMANN & Co. AKTIENGESELLSCHAFT (OG 4)

Dr. Georg Avramidis (OG 2, wiss. Leitung)

Rabea Bernhardt (OG 1, wiss. Bearbeitung)

Dr. Vanessa Große-Peclum (OG 1, wiss. Bearbeitung)

Tom-Karl Götting (OG 2, wiss. Bearbeitung)

Mario Klos (OG 3, wiss. Bearbeitung)

PD Dr. Carsten Krischek (OG 1, wiss. Leitung)

Christian Ochs (OG 2, wiss. Bearbeitung)

Prof. Dr. Madeleine Plötz (OG 1, Direktorin, wiss. Leitung)

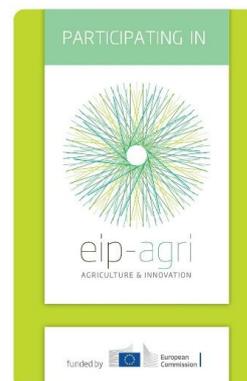
Timo Schumacher (OG 2, wiss. Bearbeitung)

Dr. Lisa Siekmann (OG 1, wiss. Leitung/ Koordination)

Dr. Michael Südbeck (OG 4, wiss. Bearbeitung)

Prof. Dr. Wolfgang Viöl (OG 2, wiss. Leitung)

Berichtszeitraum: 13. März 2022 – 15. Juni 2025



Inhaltsverzeichnis

1. KURZDARSTELLUNG	9
1.1 Ausgangssituation und Bedarf	9
1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung.....	10
1.3 Mitglieder der OG.....	10
1.4 Projektgebiet.....	13
1.5 Projektlaufzeit und Dauer.....	13
1.6 Budget.....	14
1.7 Ablauf des Verfahrens.....	14
1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse	15
2. EINGEHENDE DARSTELLUNG	15
2.1 Verwendung der Zuwendung.....	15
2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG.....	16
2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen.....	22
2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn.....	24
2.2.1 Ausgangssituation.....	24
2.2.2 Projektaufgabenstellung	26
2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf	33
2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?	33
2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG?	34
2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes.....	34
2.4.1 Zielerreichung.....	35
2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis	36
2.4.3 Projektverlauf.....	39
2.4.3.1 Arbeitspaket A1 „In-vitro Studien zur Anzucht und Keimreduktion an ausgewählten Mikroorganismen“	39

2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“	48
2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“	58
2.4.3.4 Arbeitspaket B1 „Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-Erzeuger und EWNS-System“	75
2.4.3.5 Arbeitspaket B2 „Entwicklung Applikationsform der Dekontaminationsverfahren zum Einsatz im Sprühkabinett“	77
2.4.3.6 Arbeitspaket B3 „Konstruktion & Fertigung einer Applikationskammer (Funktionsmuster)“	80
2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen	94
2.4.5 Nebenergebnisse	95
2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/ zu keinem Ergebnis geführt haben	96
2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern	96
2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	97
2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	97
2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	98
2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept	98
ANHANG 1: AUSSCHNITT DES BALKENPLANS ZUM PROJEKTANTRAG	103
ANHANG 2: MEILENSTEINE (MS)	104
ANHANG 3: SENSORIK-FRAGEBOGEN	106
ANHANG 4: REFERENZEN	109

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Schema der Zusammenarbeit der teilnehmenden OG-Partner mit exemplarischer Darstellung einer möglichen kombinierten Dekontaminationsbehandlung
- Abb. 2 a) – h):** Absterbekinetiken bei Anwendung von UV-C-Behandlung auf Projekt-relevante Mikroorganismen für die vorgesehenen pathogenen Keime a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium*, c) *S. Enteritidis*, d) *Y. enterocolitica*, e) *C. jejuni*, f) *C. coli* und die Starterkulturen g) *Staph. carnosus* und h) *L. sakei* unter Angabe des Bestimmtheitsmaßes R^2 .
- Abb. 3:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen von *L. sakei*, *St. carnosus* und *E. coli* nach Cokultur für 24 h bei 37 °C und 4 °C.
- Abb. 4:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen von *L. sakei*, *St. carnosus* und *S. Enteritidis* nach Cokultur für 24 h bei 37°C und 4°C.
- Abb. 5:** Schema der Stanzen-Entnahme.
- Abb. 6** Inaktivierung von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *C. jejuni* und *C. coli* nach Tb-PAW-Behandlung.
- Abb. 7:** Keimreduktion von *E. coli* bei Anwendung von verschiedenen UV-C-Dosen auf Schweineschwarte.
- Abb. 8 a) - d):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Schweineschwarte.
- Abb. 9 a) - e):** Keimreduktion von a) *S. Enteritidis*, b) *S. Typhimurium*, c) *C. jejuni*, d) *C. coli* und e) *E. coli* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Hähnchenhaut.
- Abb. 10 a) - c):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium* und c) *C. jejuni* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Putenhaut.
- Abb. 11 a) - d):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Schweineschwarte.
- Abb. 12 a) - e):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Hähnchenhaut.
- Abb. 13** Funktionsmodell mit Förderband für die Kombinationsbehandlung mittels UV-C und PAW.

- Abb. 14** Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* bei kombinierter Anwendung von UV-C (3,5 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Schwarte.
- Abb. 15** Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* und *C. jejuni* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Hähnchenhaut.
- Abb. 16 a) - d):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Schweinelachs.
- Abb. 17 a) - e):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Hähnchenfleisch.
- Abb. 18 a) - c):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium* und c) *C. jejuni* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Putenfleisch.
- Abb. 19 a) – d):** Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* auf Schweinefleisch nach Anwendung von Starterkulturen (*L. sakei* & *St. carnosus*).
- Abb. 20 a) – e):** Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *C. jejuni* und *C. coli* auf Hähnchenschnitzeln nach Anwendung von Starterkulturen (*L. sakei* & *St. carnosus*).
- Abb. 21 a) - d):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Schweinelachs.
- Abb. 22 a) - e):** Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Hähnchenfleisch.
- Abb. 23:** Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Schweinelachs.
- Abb. 24:** Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* und *C. jejuni* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Hähnchenschnitzel
- Abb. 25:** Beispiel Sensorikteller (ohne Hähnchenschnitzel)

- Abb. 26:** Ergebnisse (Rangsummen) der sensorischen Beurteilung von Hähnchenschnitzeln
- Abb. 27:** Sprühkabinett
- Abb. 28:** PAW-Zerstäuber und UV-C-Quelle im Sprühkabinett
- Abb. 29:** Funktionsmuster Elektrospraying
- Abb. 30:** Zeitliche Sprühmengenabgabe (PAW-TRIS & Wasser)
- Abb. 31:** Sprühverlaufskurven (PAW-TRIS & Wasser) mit Minimal- & Maximalabweichungskurven
- Abb. 32:** CAD-Funktionsmuster-Gestell
- Abb. 33:** CAD-Funktionsmuster-Bedienungseinheit
- Abb. 34:** CAD-Funktionsmuster
- Abb. 35:** CAD-Sprühsystem
- Abb. 36:** Glasgefäße für das PAW und Spülmedium
- Abb. 37:** CAD-Bedienungseinheit mit elektrischen Komponenten
- Abb. 38:** Funktionsmuster-Aufbau
- Abb. 39:** Übergabe an die TiHo-Hannover
- Abb. 40:** Neukonstruktion-Oberplatte
- Abb. 41:** Modifikation des Funktionsmusters-Wartungsklappe
- Abb. 42:** Vorrichtung zur Regulierung der Lichtspaltbreite

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Übersicht der Arbeitspakete. Die Projektaufgaben wurden in vier Arbeitspakete gegliedert und jeweils den bearbeitenden Partnern zugeteilt (AP A1 - A4: LMQS, AP B1 - B4: HAWK, AP C2 und C3: Klos; AP D2 und D3).
- Tabelle 2:** Notwendige UV-C Dosis für eine 3-log Reduktion der Mikroorganismen, aufgeteilt für die Projekt-bezogenen pathogenen Keime (links) und die vorgesehenen Starterkulturen (rechts).

Abkürzungsverzeichnis

α	alpha
Abb.	Abbildung
AEU-Vertrages	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
AP	Arbeitspaket
aw	Wasseraktivität
<i>B.</i>	<i>Brochothrix</i>
bzw.	beziehungsweise
<i>C.</i>	<i>Campylobacter</i>
CAD	Computer aided design
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
DEALS	Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept an Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein, Broiler und Pute
<i>E.</i>	<i>Escherichia</i>
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
<i>et. al.</i>	<i>et alii, et aliae</i> oder <i>et alia</i> (und andere)
etc.	<i>et cetera</i> (und so weiter)
EWNS	Engineered Water Nano Structures
EZ	Einwirkzeit
g	Gramm
Ggf.	gegebenenfalls
GKZ	Gesamtkeimzahl
HAWK	Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
insb.	insbesondere
KbE	Kolonien bildende Einheit
KMU	Kleine und Mittelständische Unternehmen
<i>L.</i>	<i>Lactobacillus</i>
LMQS	Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit
log ₁₀	Zehnerlogarithmus, dekadischer Logarithmus
LSD	Least Significant Difference
<i>M.</i>	<i>Musculus</i>

min	Minute
mJ	Millijoule
mm	Millimeter
MS	Meilenstein
N	Gesamtstichprobe
NO·	Stickoxid
NO ₂ ⁻	Nitrite
NO ₃ ⁻	Nitrate
Nr.	Nummer
ns	Nanosekunde
O ₂ ⁻	Superoxid
O ₃	Ozon
OG (-partner/)	Operationelle Gruppe
·OH	Hydroxylradikalen
ONOO ⁻	Peroxynitrit
OONO ₂ ⁻	Peroxynitrat
p	p-Wert, <i>probabilitas</i> , Signifikanzwert
PAW	Plasma-aktiviertes Wasser
PE	Polyethylen
pH	<i>pondus hygrogenii</i> , Potenzial des Wasserstoffs
PMMA	Polymethylmethacrylat
PTFE	Polytetrafluorethylen
RIS3-Strategie	Regionale Innovationsstrategie für intelligente Spezialisierung
S.	Salmonella
sig.	signifikant/e/es
St./Staph.	<i>Staphylococcus</i>
TiHo	Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
TRIS	Tris(hydroxymethyl)aminomethan
TV-L	Tarifvertrag für Beschäftigte im öffentl. Dienst der Länder in Deutschland
UV-C	Ultraviolettes Licht mit Wellenlänge von ca. 100- 280 nm
VO	Verordnung
W	Watt
Y.	<i>Yersinia</i>
YOPI	young, old, pregnant, immunosuppressed
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent

1. Kurzdarstellung

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Die weiterhin steigende Anzahl der Weltbevölkerung macht eine ausgewogene, mit ausreichend Protein versorgende Ernährung zunehmend zu einer Herausforderung. Neben der Erschließung alternativer Proteinquellen sollten auch die bisherigen Hauptquellen der Proteine, hier insbesondere in Form von tierischem Eiweiß, wertschätzend gehandhabt werden.

Innerhalb der Europäischen Union gibt es strenge hygienische Vorgaben, wie die Schlachtung von Tieren abzulaufen hat. Die Sicherheit der Verbraucher steht zu Recht an oberster Stelle und Tierkörper, die hygienisch nicht einwandfrei sind, werden im Regelfall nicht für den menschlichen Verzehr akzeptiert. Ursächlich kann hier sowohl eine vorhergehende Grunderkrankung des Tieres sein, beispielsweise mit *Campylobacter* bei Geflügel. Durch die Ausscheidungen der Tiere kann es zu einer Kontamination der Schlachttierkörper kommen. Eine Gefahr für die Übertragung auf den Menschen entsteht insbesondere durch das Handling bei der Zubereitung des Fleisches, Übertragung auf nicht durch-erhitzte Beilagen, wie z.B. Salat oder eine Kreuzkontamination über Messer und Bretter in der heimischen Küche. Auch bei der Eviszeration kann es in sehr seltenen Fällen während der Schlachtung selbst zu einer Ruptur des Magen-Darm-Traktes oder einer Eröffnung kommen, die zu einer sichtbaren Kontamination des Tierkörpers führt. Um die Partikel und Mikroorganismen nicht über den Tierkörper zu verteilen, ist hier das händische Umschneiden betroffener Partien mit anschließendem Verwurf das Mittel der Wahl (VO Nr. 853/2004). Für Rindfleisch gibt es in begrenztem Umfang auch die Option, Milchsäure zur Dekontamination einzusetzen (VO (EU) Nr. 101/2013). Die Akzeptanz weiterer Möglichkeiten, wie sie zum Beispiel in Amerika eingesetzt werden (Stichwort: Chlorhähnchen), ist in der EU nicht gegeben und stellen bislang keine Option dar.

Dennoch sollte angesichts der Versorgungslücke im Proteinbereich weiterhin über neue Möglichkeiten zur Wertschätzung und Nutzung erzeugten tierischen Proteins nachgedacht und entsprechende innovative Verfahren untersucht werden. Auch im Hinblick auf die Nachhaltigkeit ist hier Handlungsbedarf angezeigt und ein potenzieller Beitrag zur Verbesserung der Nutzung von Tierkörpern und Fleischteilstücken sollte stets willkommen sein.

Plasma-aktiviertes Wasser besitzt mikrobizide Eigenschaften, wie bereits von verschiedenen Arbeitsgruppen gezeigt werden konnte (Große-Peclum et al., 2023; Mai-Prochnow et al., 2021). Auch der Einsatz von UV-C-Bestrahlung trägt zur Reduktion von Mikroorganismen bei (Reichel et al., 2020 a, b; Song et al., 2016) und als ergänzender Ansatz kann die Applikation einer gewünschten, unkritischen mikrobiellen Flora, sogenannter Starterkulturen, das Wachstum unerwünschter Mikroorganismen erschweren (Carneiro et al., 2023). Entsprechend des Hürdenprinzips, das entstehende Synergien durch den Einsatz verschiedener, niederschwelliger Methoden nutzt, sollen die Potenziale dieser kombinierten Anwendung auf Tierkörperoberflächen, aber auch auf Fleischteilstücken ausgetestet werden.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Im Projekt „DEALS- Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept an Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein, Broiler und Pute“ werden drei Dekontaminationsverfahren miteinander kombiniert, um das mikrobizide Potenzial der Kombination sowohl auf Schlachttierkörperoberflächen, als auch auf Fleischteilstücken zu evaluieren. UV-C-Behandlung, Starterkulturen als Konkurrenzflora und Plasma-aktiviertes Wasser (als Medium selbst oder auch vernebelt als Engineered Water Nano Structures) sollen niederschwellig angewendet werden, um möglichst wenig sensorische Auswirkungen auf die jeweilig behandelte Matrix bei einer optimalen mikrobiziden Wirkung zu erreichen.

Am Ende steht das Ziel, die Möglichkeiten der Einzel- und Kombinationsbehandlungen der Verfahren aufzuzeigen, um eine spätere Anwendung am Schlachthof und im Zerlegebetrieb zu simulieren und Potenziale dieser innovativen Anwendung zu diskutieren.

Zunächst wird die mikrobizide Wirkung der einzelnen Anwendungen betrachtet, um eine Anwendungsroutine auszuwählen, die bei geringer Intensität bzw. Zeit einen merklichen Effekt auf die vorhandene artifizielle Kontamination zeigt. Darauf folgt die kombinierte Anwendung der ausgewählten Einzelbehandlungen, um synergistische Effekte zu testen.

Aufgrund der unterschiedlichen Matrices werden die Untersuchungen zunächst jeweils an der Außenseite der Schlachttierkörper und später an Fleischteilstücken durchgeführt, wobei die Spezies Schwein, Hähnchen und Pute berücksichtigt werden.

1.3 Mitglieder der OG

Nr. 1: Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo), Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit (LMQS)

Antragstellende: Dr. Lisa Siekmann, PD Dr. Carsten Krischek, Prof. Dr. Madeleine Plötz

Beschäftigte: Dr. Vanessa Große-Peclum, Rabea Bernhardt

Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover

Nr. 2: Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Forschungsgruppe für Laser- und Plasma-Technologie

Antragstellende: Dr. Georg Avramidis, Prof. apl. Prof. Dr. Wolfgang Viöl

Beschäftigte: Christian Ochs, Timo Schumacher, Tom-Karl Götting

Von-Ossietzky-Straße 100, 37085 Göttingen

Nr. 3: Schlachtbetrieb Klos

Antragstellender/Beschäftigter: Mario Klos

Dorfstraße 51, 29336 Nienhagen

Nr. 4: LOHMANN & Co. AKTIENGESELLSCHAFT, Zweigniederlassung Visbek-Rechterfeld

Antragstellender/Beschäftigter: Dr. Michael Südbeck

Paul-Wesjohann-Straße 45, 48429 Visbek-Rechterfeld

Verantwortlich für die Koordination, Organisation und Administration des „DEALS“-Projektes zeichnet die Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo).

Das Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit (LMQS) bringt als Institut der TiHo das tiermedizinische Fachwissen zu allen Bereichen der „From Farm to Fork“-Strategie in das Projekt ein. Über die Verantwortlichkeit für die Lehre in den Bereichen der Lebensmittelproduktion und -untersuchung (Fleisch, Milch, Mikrobiologie, Molekularbiologie und Technologie sowie Chemie) hinaus, besitzt das LMQS bereits beachtliche Erfahrung in der Durchführung verschiedener Forschungsprojekte und Arbeiten. Zum Themenfeld der Dekontamination von Lebensmitteln- insbesondere mit dem Schwerpunkt Fleisch- bestehen hier bereits Vorerfahrungen aus jüngerer Zeit (Koller 2021; Reichel et al. 2020a, b; Bechstein et al., 2019; Bertram 2019a, b, c, Reichel et al. 2019). Erfahrungen zur Isolation und Anzucht der für das Projekt-relevanten Mikroorganismen liegen bereits vor und es wurden zudem Plasmabehandlungen mit Erfolg gegen pathogene Mikroorganismen eingesetzt (z.B. MRSA, ESBL, Salmonellen, Listerien) (Lis et al., 2018a; Lis et al., 2018b). Die Anwendung von Plasmawasser zur Reduktion der Keimlast auf Rinderklauenhaut als Bekämpfungsstrategie gegen die Klauenerkrankung *Dermatitis digitalis* bei Rindern ist im Projekt „PlaWaKiRi“ gemeinsam mit der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) aktueller Gegenstand der Forschung. Auch UV-C-Behandlungen konnten im LMQS bereits mit Erfolg an Schweinefleisch durchgeführt werden (Reichel 2020a, b; Reichel et al. 2019) und es laufen aktuelle Untersuchungen zur Anwendung von Starterkulturen als Konkurrenzflora auf Fleischoberflächen. Weiterhin werden im LMQS regelmäßig projekt-assoziierte sensorische Untersuchungen durchgeführt und die personelle Expertise zur Planung und Durchführung ist im Hause vorhanden (Abel, 2020; Bertram et al., 2019c, Siekmann et al., 2018). Für die Umsetzung im Projekt verfügt das LMQS über die entsprechende Grundausstattung mit einer Sensorikküche und eigenem Untersuchungsraum mit Einzelkabinen. An der TiHo sind weiterhin räumliche und technische Gegebenheiten für die Anzucht, Behandlung und Untersuchung der verschiedenen Keime, sowie zur Lagerung und Behandlung der Schlachtierkörperoberflächen und Fleischteilstücke umfänglich gegeben.

Die Expertise des OG-Mitgliedes HAWK besteht in der plasmagestützten Behandlung von organischen Materialien bzw. Geweben sowie der Entwicklung entsprechend angepasster Plasmaquellen, z. B. in der Plasmamedizin [Helmke et al. 2013]. Des Weiteren konnten durch langjährige Forschungsaktivitäten Erfahrungen in unterschiedlichen Bereichen der Plasmaanwendungen im Agrarbereich gewonnen werden [ten Bosch et al. 2017, Avramidis et al. 2010, ten Bosch et al. 2017]. Dass durch diese Arbeiten erworbene technologische und grundlegende Know-how kann somit ideal genutzt werden, um das beantragte Projekt effizient und lösungsorientiert zum Erfolg zu führen. Darüber hinaus stellt die HAWK als wissenschaftlicher Projektpartner das notwendige technologische Wissen bezüglich der Entwicklung von Plasmaquellen, die notwendige Infrastruktur sowie Erfahrung beim Personaleinsatz bei der Entwicklung und Fertigung von Plasma-aktiviertem Wasser (PAW)-Erzeugern, UV- und Engineered Water Nano Structures- (EWNS-)Systemen zur Verfügung.

Ferner wird die HAWK die für die grundlegenden sowie die im betrieblichen Umfeld zum Einsatz kommenden Geräte, entwickeln/fertigen, ihren Einsatz kontinuierlich begleiten sowie den Betrieb und die Wartung derselben bei den beteiligten Projektpartnern sicherstellen. Des Weiteren werden die Betriebsparameter zum optimalen Einsatz der Dekontaminationssysteme bestimmt werden, sowie die notwendigen Parameter für ein Up-Scale der Geräte erhoben. Neben einem Technikum stehen weitere Labore und Büros zur Projektbearbeitung zur Verfügung. Hierbei sind Simulations-, Konstruktions- sowie Analysesoftware mit entsprechender Hardware obligatorisch. Die Geräteausstattung der Arbeitsgruppe umfasst sowohl ein breites oberflächenanalytisches als auch plasmadiagnostisches Instrumentarium mit dem durch das geschulte Personal alle in den HAWK-PT-Arbeitspaketen formulierten Fragestellungen bearbeitet und auch auf gegebenenfalls auftretende Unwägbarkeiten beim Einsatz der Technologie unter Realbedingungen reagiert werden kann. Darüber hinaus kann die HAWK auf umfassende Erfahrung bei der Projektdurchführung im Rahmen wissenschaftlich-wirtschaftlicher-Kooperationen verweisen, wodurch das erworbene technologische und grundlegende Know-how somit ideal genutzt werden kann, um das beantragte Projekt effizient und lösungsorientiert zum Erfolg zu führen.

Der Schlachtbetrieb von Mario Klos (Firma Klos), ist ein familien-geführtes Traditionsunternehmen in Nienhagen im Landkreis Celle. Dieser OG-Partner bringt als KMU wichtige Aspekte der RIS3-Strategie mit in das geplante Vorhaben ein, um die Bedürfnisse und Belange der kleineren Unternehmen im ländlichen Bereich zu stärken und innovative Ideen entsprechend zu transferieren. Die Firma Klos schlachtet bereits seit Jahrzehnten Schweine und Rinder aus der Region. Ein besonderer Aspekt ist hierbei der tiergerechte Umgang mit kurzen Transportwegen. Durch regelmäßigen Austausch mit den anderen OG-Partnern wird die Berücksichtigung der individuellen Ansprüche und Anforderungen an die Strukturen in kleineren handwerklichen Betrieben im Vergleich zu stärker automatisierten Großbetrieben gewährleistet.

Die Lohmann und Co.AG produziert und vermarktet hochwertige Geflügelspezialitäten. Zur Produktpalette gehören Hähnchen, Puten und Enten, die unter der Marke WIESENHOF in den Handel gelangen. Auf dem deutschen Markt gehört die Lohmann und Co.AG zu den größten Geflügelschlachtbetrieben und ist mit dem Hauptsitz in Rechterfeld in Niedersachsen angesiedelt. Durch diesen OG-Partner fließen eine enorme Expertise zur Schlachtungs- und Verarbeitungstechnologie im Geflügelsektor mit in das DEALS-Projekt ein.

Zusammenfassend werden in der OG des Projektes „DEALS“ Kompetenzen aus niedersächsischen Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Ausrichtungen mit wirtschaftlichem und handwerklichem Know-how der Partner aus der 1. Verarbeitungsstufe zusammengebracht. Gemeinsam repräsentieren die Partner aus der Region Hannover, den Landkreisen Göttingen, Celle und Vechta das Land Niedersachsen und sind bestrebt, mit diesem Projekt die Innovationskraft des Landes zu stärken.

1.4 Projektgebiet

Im vorgeschlagenen Projekt „DEALS- Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept an Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein, Broiler und Pute“ sollen verschiedene Ansätze zur Dekontamination der Schlachtkörperoberflächen und der Fleischteilstücke sowohl einzeln, als auch in gemeinsamer Anwendung als Hürdenkonzept angewendet werden.

Im Vordergrund steht hier die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft aufgrund geringerer Verwurfszahlen infolge von Kontaminationen auf den Schlachttierkörpern oder Teilstücken und somit soll gleichzeitig die Nachhaltigkeit der Ernährungswirtschaft (Fleisch) verbessert werden. Die Zusammenarbeit aus öffentlichen Einrichtungen mit einem größeren und einem kleineren (KMU) wirtschaftlichen Kooperationspartner in der Operationellen Gruppe bildet hier eine praxisnahe Grundlage für die Erarbeitung anwendungsorientierter Lösungen insbesondere für die 1. Stufe der Verarbeitung und stellt aufgrund der verbesserten Verwertbarkeit und Ausschöpfung der Ressourcen aus der landwirtschaftlichen Urproduktion (Tiermast) auch für diese Interessensgruppen einen wesentlichen innovativen Schritt dar.

Wie bei den Ausführungen gemäß der EIP-Ziele dargelegt, trägt das Projekt zur verbesserten Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit bei. Die Ressourcenschonung soll im Bereich der Tierproduktion- konkret der Wertschöpfungskette Fleisch- durch die Vermeidung und Verringerung von beispielsweise aufgrund fäkaler Kontaminationen zu verwerfenden Schlachttierkörpern und/oder Teilstücken verbessert werden. Diese Vorteile sollen gleichermaßen für Tiere aus den Betrieben mit konventioneller, als auch aus ökologischer Tierhaltung angewendet werden.

Neben diesen Pluspunkten für die Wirtschaft (sowohl auf der ersten Verarbeitungsstufe, als auch für die Urproduktion, die mit geringeren Verlusten zu rechnen hat), ist auch die Bedeutung für die Verbraucher nicht zu missachten. Am Ende dieser innovativen Kombinationsanwendung bieten die zu erarbeitenden Erkenntnisse eine wichtige Auskunft über den Beitrag zur Verbesserung der Wertschöpfungskette und führen gegebenenfalls auch zu einer verbesserten Lebensmittelsicherheit der Endprodukte.

Das Innovationsprojekt bezieht sich auf Innovationen mit Bezug auf Erzeugnisse nach Anhang 1 des AEU-Vertrages (landwirtschaftliche Urproduktion oder 1. Stufe der Verarbeitung und Vermarktung).

1.5 Projektlaufzeit und Dauer

Das Projekt wurde vom 13.03.2022 bis zum 30.04.2025 bewilligt.

Aufgrund einer herausfordernden Personalsituation im Zusammenhang mit der Covid19-Pandemie erfolgte der Beginn des Projektarbeiten bei den OG-Partnern etwas versetzt.

OG 1 konnte zum 01.09.2022 die Stelle einer technischen Mitarbeiterin besetzen. Die wissenschaftliche Stelle wurde zum 15.04.2023 vergeben.

Der Projektbeginn für OG 2 verschob sich aus verwaltungstechnischen Gründen (Personaleinstellung) auf den 01.07.2022. Verzögerungen im Projektablauf aufgrund von Einschränkungen (Personalwechsel, Einzelbelegung von Laboren und Vorbereitungsräumen, zeitliche Arbeit im Schichtsystem, Krankheitsausfall, Lieferverzögerungen) führten (u.a.) dazu,

dass einzelne Versuchsdurchführungen zeitlich verschoben werden mussten. Deshalb wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Bewilligungszeitraums bis zum 15.06.2025 beantragt und am 12.02.2025 bewilligt.

1.6 Budget

Die endgültig festgesetzte Zuwendungshöhe wurde auf maximal 482.195,23 € festgelegt.

Es wurden zur Projektbearbeitung insgesamt 360.562,01 € (s. auch Anhänge 1 – 5) abgerufen. Die Zahlen der Anhänge gelten vorbehaltlich der ausstehenden Schlusszahlung und des 5. Mittelabrufes. Eine Anpassung der finanziellen Darstellung erfolgt unaufgefordert nach Schlusszahlung.

Für das OG-Mitglied **TiHo** wurden insgesamt 243.060,30 € bewilligt, wobei 78.476,65 € (technische Stelle) und 124.087,93 € (wissenschaftliche Stelle) auf Personalkosten entfallen, 38.047,12 € für den Kauf von Instrumenten und Ausrüstungsgegenständen und 2.448,60 € auf Reisekosten entfallen (s. auch Anhang 1).

Für das OG-Mitglied **HAWK** wurden insgesamt 204.228,49 € bewilligt, wobei 125.351,88 € auf Personalkosten, 12.668,40 € für studentische Hilfskräfte, 18.805,23 € auf den Kauf von Ausrüstungs-/Ausstattungsgegenständen, 44.241,68 € auf wissenschaftliche Studien/Tests und 3.161,30 € auf Reisekosten entfallen (s. auch Anhang 2).

Für das OG-Mitglied **Klos** wurden insgesamt 8.535,00 € bewilligt, wobei 7.668,00 € auf Personalkosten und 867,00 € auf Reisekosten entfallen (s. auch Anhang 3).

Für das OG-Mitglied **Lohmann** wurden insgesamt 11.662,80 € bewilligt, wobei 10.368,00 € auf Personalkosten und 1.294,80 € auf Reisekosten entfallen (s. auch Anhang 4).

Für die **Projektkoordination** wurden insgesamt 14.617,00 € bewilligt, wobei 14.617,00 € für Öffentlichkeitsarbeit entfallen (s. auch Anhang 5).

Aufgrund der Restriktionen und Lieferverzögerungen während und im Nachgang der Covid19-Pandemie waren Projekttreffen in Präsenz und Multiplikatorveranstaltungen eingeschränkt, sodass die vorgesehenen Finanzmittel für die Öffentlichkeitsarbeit und Reisekosten teilweise umgewidmet oder nicht vollständig ausgenutzt wurden.

1.7 Ablauf des Verfahrens

Die Erzeugung des PAWs und der Aufbau des späteren Funktionsmusters werden von OG-Partner 2, der HAWK übernommen. Die Anwendungsversuche zur Dekontamination finden bei OG-Partner 1, dem LMQS statt. Die OG-Partner 2 (HAWK) und 1 (TiHo) stehen in engem Austausch, um den Einsatz des PAWs als Dekontaminationsmethode abzusprechen. OG-Partner 3 und 4, die beiden Schlachtbetriebe, wählen das geeignete Material für die Versuche aus und stellen es zur Verfügung.

Grundsätzlich beginnen die Untersuchungen mit den Einzelanwendungen, später folgt der kombinierte Einsatz der Verfahren. Die Applikation erfolgt zunächst auf den

Tierkörperoberflächen, später auf den Fleischteilstücken. Es wird mit der Tierart Schwein begonnen, dann folgt Hähnchen. Diese Erkenntnisse werden zuletzt auf die Anwendung bei der Pute übertragen.

1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse

Es konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass sowohl die singular angewendeten Verfahren, als auch zum Teil die kombinierten Verfahren, einen mikrobiziden Effekt haben. Aufgrund der Vielzahl an Stellschrauben, die bei der Applikation gestellt werden können, besteht hier noch weiterer Forschungsbedarf. Es konnte erkannt werden, dass sowohl das behandelte Material, als auch die äußeren Umstände einen Einfluss auf die Wirkung der Verfahren haben. Insbesondere beim innovativen Ansatz des Plasma-aktivierten Wassers gilt es, die Kombination noch weiter zu optimieren.

It was generally demonstrated that both the individually applied methods and, in some cases, the combined methods have a microbicidal effect. Due to the large number of variables that can be adjusted during application, further research is needed in this area. It was recognized that both the treated material and the external conditions have an influence on the effectiveness of the methods. In particular, the combination of the innovative approach of plasma-activated water needs to be further optimized.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

In diesem Abschnitt wird zunächst im Balkenplan der zeitliche Ablauf des Projektes dargestellt. Meilensteine sind gekennzeichnet, werden dann aber, ebenso wie die inhaltlichen Aspekte der Arbeitspakete im Balkenplan, unter 2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zur Projektbeginn, ausgeführt.

Für jedes der vier OG-Mitglieder wird separat aufgelistet, welche Vorhaben der Planung wie vorgesehen umgesetzt, modifiziert bearbeitet oder aufgrund der erarbeiteten Erkenntnisse wieder verworfen wurden. Bei der modifizierten Bearbeitung oder Umstrukturierung einzelner Aufgaben werden diese hier weiter im Detail vorgestellt. Auch die Umsetzung der Aufgaben der laufenden Zusammenarbeit sind entsprechend dargestellt.

Die Darstellung der wichtigsten finanziellen Posten (insb. Personal und Sachkosten) für die einzelnen OG-Mitglieder schließt sich an.

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG

Der in Anhang 6 dargestellte Balkenplan gibt einen Überblick über die im Geschäftsplan vorgesehenen Arbeitspakete (AP) des Projektes und den zeitlichen Rahmen (Stand 30. Juni 2023). Eine detaillierte Übersicht der Aufgaben innerhalb der einzelnen AP entnehmen Sie bitte der Tabelle 1 unter 2.2.2 Projektaufgabenstellung. Im Folgenden stellen wir die tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte vor.

OG 1

2.1.1.1 Arbeitspaket A1 „In-vitro Studien zur Anzucht und Keimreduktion an ausgewählten Mikroorganismen“

Dieses AP wurde zum 01. September 2022 mit der Einstellung der technischen Mitarbeiterin begonnen. Aufgrund ihrer umfangreichen Vorerfahrung konnte Sie sich direkt in die Vorbereitung der Fragestellungen in AP A1 einarbeiten. Zunächst wurde eine Versuchsplanung (an Anlehnung an Reichel et al., 2020a, b; 2019) erstellt und die im Projektantrag genannten relevanten Keime angezüchtet. In diesem Zuge wurden auch die Anzuchtprotokolle überarbeitet und angepasst. Es wurden zudem Versuche zur Einwirkung von UV-C-Licht auf *Escherichia(E.) coli* durchgeführt. Die Planung für die Anwendung bei den weiteren Keimen *Campylobacter (C.) jejuni*, *C. coli*, *Yersinia (Y.) enterocolitica*, *Salmonella (S.) Typhimurium* und *S. Enteritidis* wurde ebenfalls abgeschlossen.

Vorbehaltlich der ausstehenden Besetzung der E14-Stelle konnten die Arbeiten entsprechend der Vorgaben im Arbeitsplan erfüllt werden. Aufgrund der Vorerfahrung der technischen Mitarbeiterin in der Arbeit mit Mikroorganismen war zu erwarten, dass die anfängliche Zeitverschiebung zu keinen deutlichen Verzögerungen im gesamten Projektablauf führen wird. Ein angepasster Balkenplan mit einer Verschiebung und Überlagerung der APs A1 und A2 wurde entsprechend vorgelegt.

Mit der Aufnahme der Tätigkeiten durch Frau Vanessa Große-Peclum zum 15. April 2023 erfolgte eine erneute Einarbeitung (Projektantrag, Literaturrecherche, Laborarbeiten) in das Projekt DEALs und die Arbeiten aus AP A1 konnten plangemäß fortgeführt werden. Hierfür wurden die letzten zwei Anzuchtprotokolle (*Staphylococcus (Staph.) carnosus* und *Lactobacillus (L.) sakei*) überarbeitet und angepasst. Die Versuche zur Einwirkung von UV-C-Licht (in vitro) auf *E. coli*, *C. jejuni*, *C. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Typhimurium* und *S. Enteritidis*, *Staph. carnosus* und *L. sakei* wurden abgeschlossen und Versuche zur Anwendung der vorgesehen Starterkulturen *Staph. carnosus* und *L. sakei* gegenüber *E. coli* und *S. Enteritidis* durchgeführt.

Der Versuchsablauf der in vitro-Versuche mittels Starterkulturen musste im Laufe der Versuchsreihe angepasst und ein alternatives Verfahren (Agar-Diffusions-Test) angewendet werden. Da die Anwendung von Starterkulturen nicht den gewünschten Erfolg erzielte wurden diese aus den weiteren Versuchsreihen ausgeschlossen.

In vitro-Versuche zur Einwirkung von PAW auf *E. coli*, *C. jejuni*, *C. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Typhimurium* und *S. Enteritidis* verliefen vielversprechend und konnten abgeschlossen werden.

Aus zeitlichen Gründen und aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus AP A1 wurde frühzeitiger mit AP A2 begonnen, obwohl Teile aus AP A1 bezüglich der Anwendung von PAW und EWNS noch nicht umgesetzt waren.

Es bestand ein reger Austausch insbesondere mit dem OG-Partner 2, der HAWK, bezüglich der im Verlauf des Projektes anzuwendenden (EWNS)- Sprühvorrichtungen und über die Herstellung des auch zum Sprühen geeigneten PAWs. Hierzu war vorgesehen, dass zunächst unterschiedliche Probedurchläufe zur Sprüh-Tauglichkeit an der HAWK durchgeführt werden, bevor mehrere EWNS-Sprühvorrichtungs-Prototypen gemeinsam an der TiHo ausgetestet werden. Hierbei waren einerseits die Kompatibilität des PAWs mit den verwendeten Materialien, aber auch die später vorgesehene Anwendbarkeit der Apparatur im Labor, am Tierkörper und am Teilstück abzuwägen. Es liefen Versuche um verschiedene Puffer bzw. die daraus hergestellten PAWs auf ihre Reduktionsfähigkeit gegenüber *E. coli* (Referenzkeim) zu beurteilen. Am Ende wurde sich darauf geeinigt bei dem bereits genutzten TRIS-Puffer zu bleiben und die Anwendung von EWNS wurde aus den Versuchsreihen ausgeschlossen, da dieses keinen Mehrwert für die Versuche darstellte.

2.1.1.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“

AP A2 wurde in dem Berichtszeitraum zum 15. Februar 2024 begonnen. Die Versuche zur Einzelbehandlung von Schweine- bzw. Geflügelhaut (Hähnchen und Pute) mittels UV-C konnten erfolgreich beendet werden und konnten frühzeitiger, als geplant, auf Fleisch (Lachsschinken des Schweins und Hähnchenbrustfilet; AP A3) übertragen werden (Vorversuche). Für die UV-C- Behandlung bei der Pute wurde sich stärker auf relevante Keime fokussiert, um noch innerhalb der Projektlaufzeit wichtige Erkenntnisse gewinnen zu können. Da für den wissenschaftlichen Nachweis einer erfolgreichen Kombinationsbehandlung noch eine weiter zu reduzierende Keimzahl am Ende der UV-C-Behandlung auf der Schwarte verbleiben muss, wurden die Versuche im Verlauf angepasst. Zum Teil führten die Versuche zu einer zu starken Reduktion der Mikroorganismen, die im Hinblick auf das Projekt mit der Anwendung mehrerer niederschwelliger „Hürden“ noch als zu stark zu bewerten wurden. Bei den beiden Matrices Schweine- und Geflügelhaut konnte am Ende eine effektive UV-C-Dosis ermittelt werden, bei der noch gute Erfolge hinsichtlich einer Reduktion der Mikroorganismen erreicht wird, ohne diese unter einen kritischen Wert zu senken. Ziel war hier, diese im Hinblick auf das gewünschte Hürdenkonzept und die geplanten Kombinationsbehandlungen auszuwählen.

Die Versuche zur Einzelbehandlung von Schweine- bzw. Hähnchenhaut mittels PAW (AP A2) konnten ebenfalls beendet werden. Es wurde mit der zuvor ermittelten Einwirkzeit (EZ) von 10 min gearbeitet. Parallel wurde einmalig eine EZ von 5 min ausgetestet, aber aufgrund schlechterer Ergebnisse wieder verworfen. Die Anwendung auf Putenhaut konnte aus zeitlichen Gründen nicht mehr durchgeführt werden, allerdings sind die Ergebnisse bei der UV-

C-Einzelbehandlung sehr ähnlichen zu dem vom Hähnchen und lassen darauf schließen, dass es sich bei den anderen Behandlungsverfahren ähnlich verhalten könnte.

Die kombinierte Anwendung von UV-C und PAW konnte wie geplant für Schwarte und Hähnchenhaut erfolgreich abgeschlossen werden. Aus zeitlichen Gründen konnte auch hier eine Anwendung auf Putenhaut nicht mehr stattfinden.

2.1.1.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“

Die bereits im Berichtszeitraum zum 15. August 2024 gestarteten Versuche zur Einzelbehandlung von Schweine-, Hähnchen und Putenfleisch mittels UV-C (AP A3) konnten erfolgreich beendet werden. Auch hier wurde sich bei der Pute auf eine Auswahl von Keimen konzentriert.

Die Anwendung von PAW auf Schweine- bzw. Hähnchenfleisch konnte beendet werden, sowie die kombinierte Anwendung von UV-C und PAW auf diesen beiden Teilstücken. Darüber hinaus konnte die vorgesehene sensorische Untersuchung von Hähnchenfleisch mit verschiedenen Behandlungsverfahren im Vergleich durchgeführt werden. Die Ergebnisse dazu finden sich unter 2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“.

OG 2

2.1.1.4 Arbeitspaket B1 „Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-Erzeuger und EWNS-System“

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung, Konstruktion und Parametrisierung eines geeigneten PAW-Erzeugers sowie eines EWNS-Systems vorgesehen, wobei sowohl Neuentwicklungen als auch die Auswahl und Modifizierung bestehender Konzepte zur Anwendung kommen sollten. Geplant war, verschiedene Dekontaminationsmethoden (PAW, EWNS, UV-C) im Hinblick auf ihre Effizienz bei der Keimreduktion zu evaluieren. Hierzu sollten insbesondere Kombinationsmöglichkeiten der EWNS-Technologie unter Berücksichtigung der Parallel- oder Simultanerzeugung von Plasma-aktivierten Lösungen betrachtet und optimiert werden. Parallel dazu war vorgesehen, erste Versuche mit den verfügbaren UV-C-Geräten der HAWK durchzuführen und diese zu parametrieren. Am Ende des AP standen ein Labormuster zur kombinierten PAW/EWNS-Erzeugung sowie validierte Betriebsparameter.

Die geplanten Vorversuche zur Anwendung von PAW wurden umfassend durchgeführt, wobei die mikrobiologische Wirksamkeit von PAW auf Nährböden erfolgreich demonstriert und die optimalen Einsatzparameter näherungsweise ermittelt werden konnten. Die dekontaminierende Wirkung von UV-C-Strahlung wurde parallel experimentell bestätigt und durch Literatur gestützt. Der Übergang zur PAW-Applikation im Labormodell erfolgte mittels Elektrospraying, wodurch eine homogene Benetzung erreicht wurde. Im weiteren Entwicklungsverlauf wurden spezifische Probleme bei der Kombination von PAW-TRIS-Lösungen mit elektrostatischen Verfahren beobachtet, namentlich Salzkristallisation und Düsenverstopfungen, weshalb verschiedene Zerstäubertechnologien getestet und schließlich

auf das pneumatische Sprühsystem ZERSTAUB M5 B umgestellt wurde. Überdies wurde eine effiziente Spülstrategie etabliert, um die Betriebssicherheit und Konstanz des Systems zu gewährleisten.

2.1.1.5 Arbeitspaket B2 „Entwicklung Applikationsform der Dekontaminationsverfahren zum Einsatz im Sprühkabinett“

Die Entwicklung eines Applikationssystems für die Kombination der Dekontaminationsmethoden (UV-C, PAW/EWNS) im sogenannten Sprühkabinett war zentraler Zielpunkt. Die Applikationsreihenfolge der verschiedenen Verfahren sollte experimentell bestimmt werden. Hierbei war der Einsatz von EWNS-basierten Spray-Systemen zur Applikation von PAW/EWNS auf Indikatorkeime (anhand von *E. coli*) als Kernelement des Arbeitspaketes vorgesehen.

Im praktischen Verlauf zeigten sich technische Limitierungen des Elektrosprayings infolge TRIS-bedingter Salzausfällungen, sodass das elektrostatische Applikationssystem zugunsten eines pneumatischen Zerstäubersystems adaptiert wurde. Es wurde ein Protokoll zur Spülung und Qualitätskontrolle der Sprüheinheit entwickelt, um eine konsistente Applikation des Behandlungsmittels zu gewährleisten. Die daraus gezogenen Erkenntnisse und Messreihen dienen nun als Grundlage für die weitere Standardisierung und Optimierung der Applikation antimikrobieller Lösungen im lebensmittelnahen Kontext.

2.1.1.6 Arbeitspaket B3 „Konstruktion & Fertigung Applikationskammer/Kabinett“

Ziel war die integrative Entwicklung eines modularen Funktionsmusters für die praxisrelevante Kombination der Dekontaminationsansätze im Sprüh- und Bestrahlungskabinett, das bei Projektpartnern vor Ort evaluiert werden sollte. Im Fokus standen mechanische Robustheit, Anpassbarkeit an unterschiedliche Einsatzbedingungen sowie ein Sicherheitskonzept für Anwenderschutz und Anlagensicherung.

Das Funktionsmuster wurde nach gemeinsam entwickelten Anforderungsprofilen mit modularer PMMA-Einhausung, PTFE (Polytetrafluorethylen)-Gleitebenen und zentraler Edelstahl-Bedieneinheit konstruiert und erfolgreich gefertigt. Im Anschluss an umfangreiche Funktionstests und Anpassungen (u.a. Integration eines robusten Fördersystems, Platzierung aller Subsysteme und Etablierung umfassender Sicherheitsmaßnahmen) wurde das System für betriebsfertige Übergabe und Validierungsversuche an den OG-Partner TiHo vorbereitet. Im Rahmen der Zusammenarbeit wurden verschiedene, praxisinitiierte Anpassungen vorgenommen, darunter die exakte Zentrierung des Sprühsystems, eine verbesserte Wartungsklappenlösung zur Innenraumreinigung sowie die Entwicklung einer regulierbaren Lichtspaltvorrichtung für die UV-C-Anlage. Sämtliche Maßnahmen wurden in enger Abstimmung mit der TiHo erarbeitet, das TiHo-Personal entsprechend geschult und unmittelbar umgesetzt.

OG 3

Für OG 3 haben sich keine bedeutenden Änderungen gegenüber der Versuchsplanung ergeben. Die Teilschritte wurden entsprechend des Bedarfs der OG 1 durchgeführt. Infolge der angepassten Versuchsreihen ist es bei der Anzahl der Materiallieferungen zu Abweichungen gekommen.

2.1.1.7 Arbeitspaket C2 „Auswahl, Schlachtung und Bereitstellung von Schweineschlachttierkörpern“

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket erfolgten in Absprache mit den OG-Partnern 1 und 2. Sobald hier die Versuchsdurchführung terminiert und die PAW-Lieferung gebucht war, wurde OG 3 mitgeteilt, welche Proben am jeweiligen Versuchstag benötigt werden. Die Schweine, von denen die Schwarten verwendet wurden, sind im Betrieb regulär geschlachtet worden. Im Anschluss wurde von den gekühlten Tierkörpern die entsprechende Probengröße zugeschnitten und für die Abholung durch OG 1 vorbereitet. Die Zuschnitte der Schwarte wurden von den jeweils ausgewählten Tieren aus dem Bereich des Rückens angefertigt.

Dieses Vorgehen wurde für alle Versuchstage mit der Matrix „Schweineschwarte“ wiederholt. Der Umfang der Untersuchungen wird unter 2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“ dargestellt.

2.1.1.8 Arbeitspaket C3 „Auswahl, Schlachtung und Zuschnitt von Schweinefleisch“

Analog zum Vorgehen im AP C2 wurde in AP C3 gehandelt. Zusätzlich umfassten die Arbeiten hier auch Teilzuschnitte, sodass die Schweinelachse (*M. longissimus dorsi*) nach der Kühlung aus den Tierkörperhälften herausgelöst und dann zur Abholung vorbereitet wurden. Die Anwendung der Dekontaminationsverfahren erfolgte dann auf zugeschnittenen Schnitzeln.

Dieses Vorgehen wurde für alle Versuchstage mit der Matrix „Schweine-Teilstück“ wiederholt. Der Umfang der Untersuchungen wird unter 2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“ dargestellt.

Im Rahmen von Telefonaten und Projekttreffen, aber auch dem Symposium, wurde ebenfalls über die Beeinflussung des Fleisches durch die Anwendung der Dekontaminationsverfahren gesprochen. Die spätere Vermarktbarkeit eines Produktes ist eines der wichtigsten Kriterien bei der Etablierung neuartiger Verfahren im Bereich der nachhaltigen Lebensmittelproduktion.

Im Rahmen des Projekttreffens am 12. Februar 2025 wurde der Fokus der Gespräche im Rahmen der Besichtigung der Betriebsräume vermehrt auf mögliche Applikationen der verschiedenen Dekontaminationsverfahren oder eines Kombinationsgerätes im Betrieb selbst gelegt. Hierbei wurden sowohl bauliche, als auch anwendungsbezogene Aspekte diskutiert.

OG 4

Für OG 4 haben sich ebenfalls keine bedeutenden thematischen Änderungen gegenüber der Versuchsplanung ergeben. Die Teilschritte wurden entsprechend des Bedarfs der OG 1 durchgeführt. Infolge der angepassten Versuchsreihen ist es bei der Anzahl der Materiallieferungen zu Abweichungen gekommen, hier wurde der Umfang insbesondere bei der Bereitstellung von Proben der Tierart Pute reduziert.

2.1.1.9 Arbeitspaket D2 „Auswahl, Schlachtung und Bereitstellung von Geflügel- und Putenschlachtkörpern“

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket erfolgten, wie bereits beim Schlachthofpartner OG 3, in Absprache mit den OG-Partnern 1 und 2. Nach Festsetzung der Versuchsplanung und Ansprache zur Lieferung des PAW, wurden der erforderliche Probenumfang mitgeteilt. Im Projektverlauf wurden zunächst die Untersuchungen an Hähnchen durchgeführt, woran sich die Analysen mit der Pute in reduziertem Umfang angeschlossen haben.

Jegliches Geflügel wurde regulär in einem Betrieb unter der Zuständigkeit des Mitarbeiters geschlachtet und gekühlt. Danach wurden die benötigten Probenmaterialien für den Versand vorbereitet und i.d.R. am Folgetag bei OG 1 abgeliefert. Bei den Hähnchen wurden ganze Schenkel geliefert, bei den Puten wurden Oberkeulen zur Verfügung gestellt.

Dieses Vorgehen wurde für alle Versuchstage mit den Matrices „Hähnchenhaut“ und „Putenhaut“ wiederholt. Der Umfang der Untersuchungen wird unter 2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“ dargestellt.

2.1.1.10 Arbeitspaket D3 „Auswahl, Schlachtung und Zuschnitt von Broiler- und Putenfleisch“

Das in AP D3 bereits bewährte Verfahren wurde hier fortgesetzt. Die regulär geschlachteten Geflügelspezies Hähnchen bzw. Pute wurden gekühlt und zu Teilstücken zugeschnitten. Die Lieferung erfolgte jeweils nach Absprache in gewünschtem Umfang.

Es wurden die Matrices „Hähnchenschnitzel“ und „Putenschnitzel“ bereits im zugeschnittenen Zustand geliefert. Bei beiden Geflügelspezies stammen diese Teilstücke aus der Brustmuskulatur, dem *M. pectoralis superficialis*.

Dieses Vorgehen wurde für alle Versuchstage wiederholt. Der Umfang der Untersuchungen wird unter 2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“ dargestellt.

Im Rahmen von Telefonaten bzw. E-Mails und Projekttreffen, wurde auch mit OG-Partner 4 über die Beeinflussung des Fleisches durch die Anwendung der Dekontaminationsverfahren gesprochen. Die spätere Vermarktbarkeit eines Produktes ist eines der wichtigsten Kriterien bei der Etablierung neuartiger Verfahren im Bereich der nachhaltigen Lebensmittelproduktion.

Die sensorische Bewertung behandelte Proben wurde aus Praktikabilitätsgründen ausschließlich bei OG 1 durchgeführt, da hier im Rahmen eines anderen Projektes aktuell eine Gruppe von Prüfpersonen für die sensorische Bewertung von Fleisch aufgestellt worden war.

Im Rahmen des Projekttreffens am 11. Dezember 2024 wurden sowohl der Betrieb zur Schlachtung von Puten, als auch der Betrieb zur Schlachtung von Hähnchen besichtigt. Auch hier waren die zukünftigen Möglichkeiten zum praktischen Einsatz eines Dekontaminationsverfahrens bzw. eines Gerätes zur kombinierten Dekontamination Thema. Die Einblicke in die sehr effektiven Produktionsabläufe mit hoher Automatisierung haben wichtige Aspekte für die zukünftige Planung entsprechender Geräte aufgebracht und sind von OG 2 entsprechend bei den Überlegungen zum Upscaling berücksichtigt worden.

Alle OG-Partner

2.1.1.11 Arbeitspaket E „Ergebnisaufarbeitung und Öffentlichkeitsarbeit“

Halbjährlich haben alle OG-Partner gemeinsam den Zwischenbericht erstellt und die hierfür notwendigen Absprachen getroffen. OG 1 und 2 haben sich monatlich in einem Online-Format getroffen, um den Projektfortschritt zu diskutieren. Mit den OG-Partnern 3 und 4 wurde insbesondere im Zusammenhang mit der Versuchsplanung oder Absprachen zum Symposium telefonisch bzw. via E-Mail oder Messenger das Vorgehen besprochen.

Die Erkenntnisse aus dem Projektverlauf wurden bzw. werden jährlich beim EIP-Gartenfest in Hannover (2023, 2024, 2025) mit Interessierten geteilt und Ergebnisse auch auf Kongressen, wie den DLG Lebensmittel-Tagungen in Garmisch-Partenkirchen 2024 und – bereits angenommen, auch in 2025 – vorgestellt.

Im Rahmen des Symposiums zum Projektabschluss am 8. Mai 2025 haben alle OG-Partner aktiv die Veranstaltung und die assoziierten Diskussionen im Rahmenprogramm gestaltet.

Eine Auflistung der Öffentlichkeitsarbeit findet sich unter 2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept.

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Öffentlichkeitsarbeit (Symposium):

Die Ausgaben für Öffentlichkeitsarbeit der Tierärztlichen Hochschule Hannover im Rahmen des Symposiums „Hygiene im Schlachthof - auf dem Weg zum sicheren Lebensmittel“ vom 08. Mai 2025 belaufen sich auf 1942,25 €.

OG 1

Ausgaben für Personalausgaben:

Die Personalausgaben der Tierärztlichen Hochschule Hannover umfassen die Beschäftigung der Tierärztin Frau Vanessa Große-Peclum im Zeitraum vom 15. April 2023 bis zum 15. Juni

2025 nach TV-L E 14 mit 50% sowie für Frau Rabea Bernhardt vom 01. September 2022 bis 15. Juni 2025 nach TV-L E 7 mit 50%.

Ausgaben für Material und Bedarfsmittel:

Die Ausgaben für Material und Bedarfsmittel der Tierärztlichen Hochschule Hannover belaufen sich auf 699,82 € für die Anschaffung von Schwarte und Schweinelachs (Schwein), 964,90 € für die Anschaffung von Hähnchenschnitzeln und Hähnchenschenkeln, sowie 387,24 € für die Anschaffung von Putenschnitzeln und Putenschenkeln. Darüber hinaus wurde ein Kompressor und ein zugehöriges Werkzeugset in Höhe von 482,00 € verausgabt.

OG 2

Ausgaben für Personalausgaben:

Für die wissenschaftliche Bearbeitung der Arbeitspakete für OG-Partner HAWK wurde Herr Timo Schumacher im Zeitraum vom 01.07.2022 bis 30.09.2023 mit einer 41 % E13-Stelle, Herr Christian Ochs im Zeitraum vom 01.06.2023 bis 30.09.2024 mit einer 40% E13-Stelle, und im Zeitraum vom 01.10.2024 bis 30.04.2025 mit einer 100 % E13-Stelle für die wissenschaftliche Bearbeitung der Arbeitspakete befristet beschäftigt. Herr Tom-Karl Götting war im Zeitraum vom 15.08.2024 bis 31.03.2025 als studentische Hilfskraft tätig.

Ausgaben für Investitionsmittel:

Tantec Netzgerät HV-X10 (Coronagenerator) + Zubehör: 13.428,00 €

Waage 837,50 €, Schüttelgerät 495 €, WIG-Schweißgerät 472,98 €, Pipette 384,26 €

Weitere diverse Kleingeräte siehe Belegübersicht 5.3.6

Gesamtausgabe: 20.416,20 €

Ausgaben für Material und Bedarfsmittel:

Gesamtausgabe: 21.868,21 €, siehe Belegübersicht 5.3.2.

OG 3

Ausgaben für Aufwandszahlungen:

Die Aufwandszahlungen vom Schlachtbetrieb Klos belaufen sich auf 4.401,00 €.

OG 4

Ausgaben für Aufwandszahlungen:

Die Aufwandszahlungen vom Lohmann und Co.AG belaufen sich auf 5.616,50 €.

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

Im Folgenden wird die Ausgangssituation zu Projektbeginn dargestellt, wobei die konkrete Problemstellung der Projektthematik in „DEALS“ herausgearbeitet wird. Der konkrete Handlungsbedarf wird aufgezeigt und der innovative Lösungsansatz vorgestellt. In einer schematischen Darstellung wird auch die Idee der kombinierten Behandlung visualisiert.

Zusätzlich werden die Projektinnovation und die Möglichkeiten des Erkenntnisgewinnes im Projekt „DEALS“ hervorgehoben. Anschließend werden die Arbeitspakete in Tabelle 1 übersichtlich und zusammengefasst vorgestellt, die vorgesehenen Meilensteine schließen sich mit zeitlichem Rahmen an.

2.2.1 Ausgangssituation

Problemstellung und Handlungsbedarf

Das Land Niedersachsen besitzt gemeinsam mit Nordrhein-Westfalen die höchste Tierdichte an Schweinen und Geflügel (Heinrich-Böll-Stiftung, BUND & Le Monde Diplomatie, 2021), weshalb die wirtschaftliche Bedeutung des niedersächsischen Standortes für die Produktion von Fleisch und Fleischerzeugnissen im bundesweiten Vergleich besonders hervorzuheben ist.

Beim Verzehr von Lebensmitteln tierischen Ursprungs kann es zu den sogenannten „Lebensmittel-bedingten Krankheitsausbrüchen“ kommen, die oftmals mit gastroenteralen Krankheitssymptomen, im schlimmsten Fall jedoch auch mit dem Tod der betroffenen Konsumierenden einhergehen können. Die häufigsten Infektionen werden durch *Campylobacter* und Salmonellen ausgelöst, die neben Erkrankungen ausgelöst durch beispielsweise *Escherichia coli* und *Yersinia enterocolitica* auch meldepflichtig sind. Laut dem Infektionsepidemiologischen Jahrbuch für 2019, welches vom Robert Koch Institut herausgegeben wird, sind in Deutschland über 60.000 Enteritiden durch *Campylobacter* und mehr als 13.000 Salmonellose-Fälle gemeldet worden (RKI, 2020). Die Zahl der nicht gemeldeten Erkrankungsfälle (Dunkelziffer) ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen, zumal es oftmals zu selbstlimitierenden Krankheitsausbrüchen über wenige Tage kommt. Während die Infektion mit *Campylobacter* und Salmonellen insbesondere beim Verzehr von Geflügelfleisch relevant ist, spielt die Kontamination mit *Yersinien* vordergründig beim Schwein eine Rolle. Eine Besiedlung mit Salmonellen ist bei Schwein, Pute und Hähnchen relevant. Als Indikator für fäkale Kontamination ist *Escherichia coli* gleichermaßen bei allen Tierarten ein zu berücksichtigender Faktor.

Insgesamt sind im Kontext dieses Projektes für Schweine- und Geflügelfleisch die folgenden Erreger als relevant einzuschätzen: *C. jejuni* und *C. coli*, *E. coli*, *Y. enterocolitica*, sowie *S. Typhimurium* und *S. Enteritidis*.

Ursache für die Erkrankung der Konsumenten können zum Beispiel bereits zuvor vorhandene Kontaminationen der Schlachtkörper (Besiedlung während der Aufzucht- und Mastphase) oder während des Schlachtvorganges entstandene Verunreinigungen sein. Zusätzlich kann das Fleisch auch durch Kreuzkontamination von einem Schlachtkörper auf den nächsten bzw. im Rahmen der Zerlegung und weiteren Verarbeitung auf das Fleisch übertragen werden.

Bei Fleisch und der Herstellung von Fleischerzeugnissen werden biologische Gefahren durch den Einsatz unterschiedlicher „Hürden“ zur Vermeidung des mikrobiellen Keimwachstums reduziert bzw. eliminiert, während bzw. bevor die Produkte in den Handel gelangen. Hürden sind z.B. neben der Kühl- und Gefrierlagerung von Fleisch bei Fleischerzeugnissen auch eine Absenkung des pH- und a_w - Wertes, z.B. durch Trocknung und Reifung oder den Einsatz von Kochsalz teilweise in Verbindung mit Nitratsalzen. Auch der Hinweis, ein Produkt wie „Hackfleisch zum Braten“ oder Geflügelfleisch ausschließlich durchgegart zu verzehren, gehören zu diesen Maßnahmen. Bei Frischfleisch, welches als Teilstück bzw. Zuschnitt abgegeben werden soll, greifen diese Maßnahmen nur begrenzt. Obwohl die Produkte unter Einhaltung der Guten Hygiene- und Herstellungspraxis weitestgehend als sicher bezeichnet werden können, besteht nicht zuletzt für gefährdete Personengruppen wie Schwangere oder Kinder, Personen mit Immunsuppression oder ältere Menschen (YOPI-Gruppe) ein nicht unerhebliches Restrisiko, das es zu minimieren gilt. Natürlich ist hierbei zu erwähnen, dass der Umgang mit diesen Lebensmitteln im Verbraucherhaushalt ebenfalls eine wichtige Rolle spielt, auf den man jedoch kaum Einfluss nehmen kann, weswegen der Einsatz geeigneter Dekontaminationsverfahren bereits auf einer sehr frühen Stufe der Lebensmittelproduktionskette entscheidend ist. Hierfür kann die vorliegende Projektidee entscheidende neue Impulse liefern, da der Einsatz eines verbesserten Hürdenkonzeptes unter Verwendung verschiedener (alternativer) Methoden sowohl am Schlachtkörper als auch am Frischfleisch die bestmöglichen Ergebnisse in Bezug auf die Lebensmittelsicherheit und letztlich auch -qualität liefern kann.

Sollte es im Rahmen der Schlachtung zu einer sichtbaren Kontamination des Tierkörpers kommen, sind diese entsprechend der Vorgaben in Anhang III Abschnitt I des Kapitels IV der VO (EG) Nr. 853/2004 wegzuschneiden oder durch andere Methoden mit gleicher Wirkung zu entfernen. Bei Anwendung „feuchter“ Methoden ist immer auch die Weiterverteilung der Kontamination auf den restlichen Tierkörper oder Kreuzkontamination benachbarter Tierkörper und der Schlachthofumgebung und des Mitarbeiters durch Spritzwasser zu beachten.

Seit langer Zeit sucht man nach geeigneten Dekontaminationsmethoden, die für die unterschiedlichen Tierarten unterschiedlich ausfallen können. Für Rindfleisch ist die Anwendung von Milchsäure bereits zugelassen (VO (EU) Nr. 101/2013) Bei Geflügel sind die Dekontaminationsversuche mit Chlor als „Chlor-Hähnchen“ negativ belegt, weil es durch den Einsatz dieser ohnehin nicht unkritischen Substanz am Lebensmittel zu sehr starken sensorischen Abweichungen bezüglich der Farbe und des Geschmackes kommt. Deshalb besteht bei den Schlachttierkörpern von Geflügel und Schwein der generelle Bedarf für eine alternative, Konsumenten-freundliche Dekontaminationsbehandlung. Durch Fäkalien (z.B. während der Eviszeration) oder auch in Folge einer zuvor bestehenden starken Verschmutzung oder Keimbesiedlung während der Mastphase (v.a. Geflügel mit *Campylobacter* und Salmonellen, Schwein mit Salmonellen und Yersinien) können immer wieder unerwünschte Kontaminationen auftreten. Die Bekämpfungsstrategien hierzu sind vielfältig, so wird beispielsweise zur Bekämpfung der Salmonellose des Schweines und des Geflügels ein Salmonellen-Monitoringprogramm durchgeführt. Dieses führt zwar zu einer Reduktion des Auftretens dieses Erregers, nicht jedoch dazu, dass der Erreger nicht mehr vorhanden ist. Es ist nicht zu erwarten, dass eine Methode dies umfänglich zu bewirken

vermag, jedoch ist eine weitere Reduktion des Auftretens pathogener Mikroorganismen oder Indikatorkeime in jedem Fall anzustreben.

Bei der Auswahl und dem Einsatz möglicher Dekontaminationsverfahren müssen mehrere Aspekte in Betracht gezogen werden: zentral ist zwar in jedem Fall die Lebensmittelsicherheit und die damit verbundene gesundheitliche Unbedenklichkeit, jedoch spielt natürlich auch die Qualität des Lebensmittels nach der Behandlung eine entscheidende Rolle. Konsumierende werden keine Produkte kaufen, die nicht der Verbrauchererwartung entsprechen und diese bezieht sich neben der Sicherheit der Produkte auch auf deren sensorische Eigenschaften. Für Lebensmittelunternehmer und Entwickler möglicher Dekontaminationstechniken wiederum ist die technische Praktikabilität gleichermaßen wichtig. Die Methode soll sicher sein, einfach anzuwenden, möglichst unter Vermeidung später notwendiger großer Umbaumaßnahmen im Betrieb und es sollen davon natürlich auch keine Risiken für die Anwendenden als auch die Konsumierenden entstehen. Plasmawasser und Starterkulturbakterien sind zwar noch nicht und UV-C-Strahlen bisher nur in einem begrenzten Umfang zur Anwendung auf Lebensmitteln zugelassen. Die Projektergebnisse könnten aber mit dazu beitragen, diese Verfahren zur Haltbarmachung von Lebensmitteln – besonders von Fleisch und Fleischerzeugnissen - in Zukunft zuzulassen und somit Alternativen zu anderen zugelassenen (chemischen) Haltbarmachungsverfahren (z.B. Milchsäure bei Rinderschlachtkörpern) zu eröffnen. Das bereits am Beispiel der Kombination von Produktionsschritten und Lagerungshinweisen dargestellte „Hürdenprinzip“ eröffnet die aussichtsreiche Möglichkeit, durch Anwendung verschiedener, innovativer Dekontaminationsverfahren in Kombination eine geringere Beeinflussung der Schlachttierkörperoberflächen bzw. des Fleisches hervorzurufen, als es durch eine hochdosierte oder langzeitige Einzelbehandlung gegebenenfalls notwendig wäre.

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Lösungsansatz

Die derzeitigen Verfahren können die oben genannten wichtigen Punkte nicht allumfassend abdecken, obwohl bereits seit vielen Jahren nach der universellen Dekontaminationsmethode gesucht wird. Mittlerweile gehen viele Expertinnen und Experten davon aus, dass der Einsatz des Hürdenkonzeptes unter Verwendung verschiedener, sich ergänzender Methoden zu einer bestmöglichen Reduktion führen kann.

In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Plasmawasser (PAW, plasma activated water) als innovativ anzusehen, weil zwar die Anwendung von kaltem Plasma und auch Plasmawasser beispielsweise zur Wundbehandlung (2021; Haertel et al., 2014; Kim et al., 2011) oder zur Behandlung von Saatgut, Früchten und Gemüse beschrieben wurde (Thirumdas et al., 2018; Wang et al., 2021), nicht aber der Einsatz zur Dekontamination von Lebensmitteln tierischen Ursprunges.

Bei technischen Plasmen werden durch Anlegen einer elektrischen Spannung an leitfähige Elektroden aus der umgebenden Luft und ihren Bestandteilen (Sauerstoff, Stickstoff etc.) u.a. Ionen, hochreaktive kurzlebige Stick- und Sauerstoffradikale und kurzwellige Strahlung gebildet. Solche Plasmen können zur Herstellung von PAW verwendet werden, das viele

aktive Spezies und Radikale enthält, die antimikrobielle Aktivität besitzen. Die mikrobizide Wirkung von PAW ist in zahlreichen Studien belegt. Der Transfer reaktiver Spezies vom Plasma in die Flüssigkeit besteht in zahlreichen physikalischen und chemischen Prozessen, einschließlich Molekülkollision, Massentransfer, Flüssigkeitsverdampfung, Ultraviolettstrahlung und anderen (z.B. Mai-Prochnow et al., 2021). Zahlreiche Studien zeigen, dass neben kurzlebigen Spezies wie Hydroxylradikalen ($\cdot\text{OH}$), Stickoxid ($\text{NO}\cdot$), Superoxid (O_2^-), Peroxynitrat (OONO_2^-) und Peroxynitrit (ONOO^-) mit der entsprechenden typischen Halbwertszeit zwischen 1 ns bis wenigen Sekunden oder langlebige Spezies wie Nitrite (NO_2^-), Nitrate (NO_3^-), Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und Ozon (O_3) mit entsprechenden typischen Halbwertszeiten von Minuten bis Jahren tragen zur biologischen Aktivität von PAW bei (Zhou et al., 2020; Barjasteh et al. 2021). Das Verfahren arbeitet rückstandsfrei nach biologisch-physikalischen Prinzipien, weshalb der Einsatz dieser Methode begleitend während der Prozesse im Schlachtbetrieb erfolgen kann. Einen großen Vorteil gegenüber klassischen Behandlungsmethoden ergibt sich darüber hinaus durch den Wegfall von Wartezeiten hinsichtlich essbarer Gewebe und tierischer Produkte, da nur eine lokale und oberflächliche Wechselwirkung des PAW im Behandlungsbereich auftreten kann.

Ein weiteres innovatives und besonders umweltverträgliches Verfahren zur Dekontamination stellt der Einsatz von EWNS dar. Bei diesem Verfahren wird Wasser in Einheiten von (sub)mikrometer Größe zerstäubt, was mikrobizide Effekte zur Folge hat (Pyrgiotakis et al., 2015; Dulay et al., 2020). Im Rahmen des geplanten Projektes soll der Einsatz von PAW mit dem Einsatz von EWNS in einem Spray-Verfahren vereinigt werden um die beiden Dekontaminationsmethoden in einem Prozessschritt am Schlachtgut anwenden zu können.

Diese gekoppelten physikalisch-chemischen Verfahren sollen mit einem ebenfalls erfolgsversprechenden Verfahren, der UV-C-Behandlung kombiniert werden (Abb. 1). Der Einsatz der UV-C-Behandlung am Lebensmittel ist bereits unter anderem am Institut für Lebensmittelqualität und –sicherheit (LMQS) durchgeführt worden und hat teilweise deutliche Keimreduktionen erzielt (Reichel et al., 2020b; 2019). Dieses physikalische Verfahren wird komplettiert durch den Einsatz eines biologischen Verfahrens, dem Einsatz von Starterkulturen (Simsek et al., 2006). Hier wurden im LMQS in aktuell laufenden Studien in der Einzelbehandlung durchaus nennenswerte Reduktionen erzielt, die jedoch unter Verwendung mehrerer Methoden zu noch deutlicheren Effekten führen könnten.

Eine Herausforderung bei allen genannten Verfahren ist der Einsatz „am Ort des Geschehens“, der praktikabel sein muss, für die Lebensmittelunternehmer bezahlbar und konstant gute Ergebnisse bezüglich der Dekontamination liefern soll. Hierzu ist zunächst die technische Voraussetzung zu schaffen und es ist ein Ziel dieses Projektes, einen Prototyp (Funktionsmuster) eines Sprüh- und Bestrahlungskabinetts, mit dessen Hilfe die Methoden möglichst effizient zur Anwendung kommen können, zu entwickeln. Der Einsatz dieses Kabinetts setzt umfangreiche Vorarbeiten voraus und für dessen Etablierung ist der Einsatz aller OGs gleichermaßen von Bedeutung, sei es für die Überprüfung der Dekontaminationserfolge seitens des LMQS, die technische Umsetzung der bestmöglichen Methode seitens der HAWK und die Beratung durch die Firma Klos und die Lohmann und Co.AG bezüglich der Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung unter realen Bedingungen.

Hinsichtlich der Regionalen Innovationsstrategie für Intelligente Spezialisierung (RIS3-Strategie) sollen die Erkenntnisse auch in den ländlichen Räumen anwendbar sein- explizit

wird dies durch die Einbindung der Firma Klos als KMU des Landkreises Celle gewährleistet. Durch die unmittelbare aktive Mitwirkung im Projekt und den Austausch zwischen den verschiedenen OG-Partnern wird hier sowohl Wissen als auch Technologie weitergegeben und dem Punkt 6 der RIS3-Strategie entsprochen. Langfristig gesehen bedient das DEALS-Projekt auch den Punkt 8 dieser Strategie- bei einem Beitrag zur Verringerung der Kontamination ergibt sich auch eine nicht unerhebliche Reduktion der zu verwendenden Tierkörper und/oder Teilstücke und eine Reduktion herkömmlicher umweltproblematischer Agenzien. Damit kann ein wichtiger Schritt in Richtung Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit/Konsumenteninteresse erreicht werden.

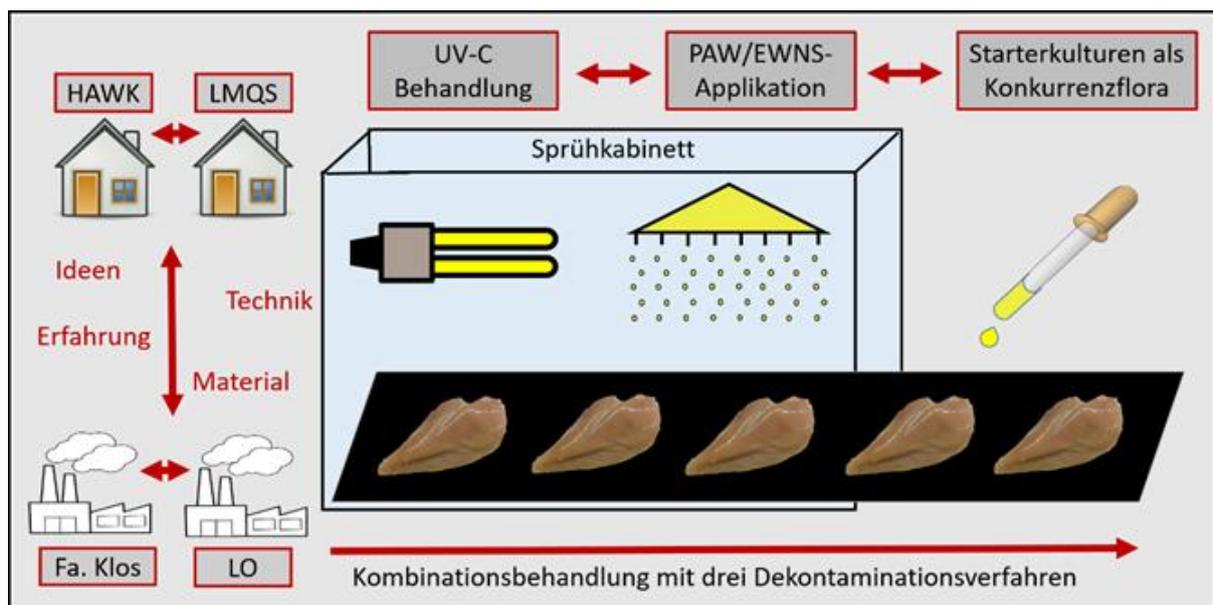


Abb. 1: Schema der Zusammenarbeit der teilnehmenden OG-Partner mit exemplarischer Darstellung einer möglichen kombinierten Dekontaminationsbehandlung

Projektinnovation

Nachgeschaltet an die singuläre Anwendung der Dekontaminationsvorhaben, von denen insbesondere die Applikation des EWNS einen innovativen Charakter besitzt, sollen die genannten Verfahren (Abb. 1) in Kombination eingesetzt werden. Hierdurch soll die bestmögliche (hinsichtlich der Keimreduktion effektivste) Dekontaminationsvariante identifiziert werden. Es ist möglich, dass hier bei den verschiedenen untersuchten Matrices Haut bzw. Fleisch auch in Abhängigkeit von der jeweiligen Tierart unterschiedliche Kombinationen am vielversprechendsten scheinen. Mit Hinblick auf die Anwendung an den Teilstücken wird auch die Möglichkeit sensorischer Abweichungen infolge der Behandlungen berücksichtigt und untersucht.

Grundsätzlich stellt die Anwendung der verschiedenen Methoden in Anlehnung an das aus der Produktion von Fleisch- und Wurstzeugnissen bereits bekannte „Hürdenkonzept“ im Bereich der Lebensmittelproduktion am Schlachthof einen neuartigen Ansatz dar, der hier untersucht werden soll.

Tabelle 1: Übersicht der Arbeitspakete. Die Projektaufgaben wurden in vier Arbeitspakete gegliedert und jeweils den bearbeitenden Partnern zugeteilt (AP A1 - A4: LMQS, AP B1 - B4: HAWK, AP C2 und C3: Klos; AP D2 und D3).

Arbeitspaket	Partner	Aufgaben
A1 In-vitro Studien zur Anzucht und Keimreduktion an ausgewählten Mikroorganismen	HAWK	<p>Für die 6 Mikroorganismen (<i>Campylobacter jejuni</i> und <i>coli</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Yersinia enterocolitica</i> und <i>Salmonella</i> Typhimurium und Enteritidis) werden bereits bestehende Anzuchtprotokolle überarbeitet und gegebenenfalls angepasst.</p> <p>In enger Abstimmung mit der HAWK werden Vorversuche zur Bestimmung/Entwicklung/Fertigung eines geeigneten PAW-Erzeugers und EWNS-Systems durchgeführt.</p> <p>Gemeinsam mit der HAWK werden die begonnenen Vorversuche zur Bestimmung/Entwicklung/ Fertigung eines geeigneten PAW-Erzeugers und EWNS-Systems weitergeführt.</p> <p>Am Ende des Arbeitspaketes B1 stehen Labormuster zur kombinierten PAW/EWNS-Erzeugung inklusive geeigneter Betriebsparameter zur Verfügung (Durchführung in Abhängigkeit mit den Fortschritten aus B1 ggf. zeitversetzt).</p> <p>Über die Anwendung der UV-C-Behandlungen wird im Austausch mit der HAWK beraten. Infolgedessen finden die Dekontaminationsverfahren nach der Einzelbehandlung auch in Kombination Anwendung.</p>
B1 Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-Erzeuger und EWNS-System	LMQS	<p>Vorversuche, Entwicklung, eines geeigneten PAW-Erzeugers und eines geeigneten EWNS-Systems (Neuentwicklung und/oder Auswahl und Modifizierung bestehender Anlagen/Geräte/Konzepte) zur Anwendung in der Keimreduktion in vitro.</p> <p>Entwicklung, Konstruktion, Fertigung und Parametrisierung eines geeigneten PAW-Erzeugers und eines geeigneten EWNS-Systems (Neuentwicklung und/oder Auswahl und Modifizierung bestehender Anlagen/Geräte/Konzepte) zur Anwendung in der Keimreduktion in vitro.</p> <p>Evaluation der Keimreduktion der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden im Rahmen der Parametrisierung der Einzel-Prozesse (PAW, EWNS). Hierbei werden die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten der EWNS-Technologie unter Verwendung bzw. simultanen Erzeugung von PALs evaluiert und bzgl. Ihrer Effizienz optimiert.</p> <p>Parallel werden erste Versuche mit an der HAWK vorhandenen UV-C-Geräten durchgeführt um geeignete Parameterkorridore zu evaluieren.</p> <p>Parametrisierung der UV-C-Quellen (anhand des Indikatorkeimes <i>E. coli</i> (siehe A1/A2))</p> <p>Fertigung eines an die experimentellen Anforderungen angepassten Labormusters zur kombinierten PAW/EWNS-Erzeugung.</p> <p>Am Ende des Arbeitspaketes B1 steht ein an die experimentellen Anforderungen angepasstes Labormuster zur kombinierten PAW/EWNS-Erzeugung (inklusive geeigneter Betriebsparameter) zur Verfügung sowie eine erfolgte Parametrisierung der UV-C-Quellen.</p>

<p>A2 Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel</p>	<p>HAWK Klos LO</p>	<p>Entwicklung von Methoden zur simulierten Kontamination (Inokulation) der Schlachttierkörper, stellvertretend an Oberflächen von Hälften, Vierteln oder großen Teilstücken (Ressourcenschonung). Beginn einer Einzel- und Kombinationsbehandlung der alternativen Dekontaminationsverfahren gegebenenfalls zunächst an einer Tierart in Abhängigkeit von den Erkenntnissen aus AP1 auf Schlachttierkörpern bzw. –teilen als Simulation mit Anwendungsbezug zur Anwendung am Schlachthof nach dem Abflammen, Entborsten und der Eviszation (Schwein), sowie nach dem Brühen und der Eviszation (Geflügel). Möglicher Beginn einer Evaluation der Keimreduktion der Dekontaminationsmethoden im Rahmen der Parametrisierung der Einzel- und Kombinationsprozesse (s. B1/B2) anhand des Indikatorkeimes <i>E. coli</i>.</p>
<p>B2 Entwicklung Applikationsform der Dekontaminationsverfahren zum Einsatz im „Sprühkabinett“</p>	<p>LMQS Klos LO</p>	<p>Evaluation der Keimreduktion im Rahmen der Parametrisierung für die Kombinationen der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden (UV-PAW/EWNS) anhand des Indikatorkeimes <i>E. coli</i> (A2). Des Weiteren wird in diesem Arbeitspaket das Applikationssystem für die Kombination PAW/EWNS entwickelt und gefertigt. Da das EWNS eine Vernebelung/Zerstäubung des Wassers voraussetzt (Aufspaltung des Wassers in (sub)mikrometer-Einheiten) wird hierfür auf ein Spray-System zurückgegriffen mit dem PAW/EWNS auf das Schlachtgut (mit <i>E. coli</i> als Indikator) aufgebracht wird. In diesem AP wird ebenfalls die mögliche Applikations-Reihenfolge der drei verschiedenen Dekontaminationsverfahren (UV-C, PAW/EWNS, Starterkulturen) identifiziert.</p>
<p>C2 Auswahl, Schlachtung und Bereitstellung von Schweineschlachttierkörpern</p>	<p>LMQS HAWK LO</p>	<p>Auswahl geeigneter Tiere (Geschlecht, Größe, Gesundheitsstatus), Schlachtung und Zuschnitt bis zur Schachtkörperhälfte bzw. handelbaren Größe oder erforderlichen Oberflächengröße (Ressourcenschonung) und Bereitstellung von Schweineschlachttierkörpern (bzw. deren oberen Schichten- Schwarte). Austausch und Absprache mit LO bzgl. tierartübergreifender Gemeinsamkeiten oder –individueller Ansprüche an die Anwendung der Dekontaminationsverfahren. Beratung hinsichtlich der Erfordernisse zur Anwendung im Schlachthof in Absprache mit LMQS und HAWK.</p>
<p>D2 Auswahl, Schlachtung und Bereitstellung von Geflügel- und Putenschlachtkörpern</p>	<p>LMQS HAWK</p>	<p>Auswahl geeigneter Tiere (Herde, Geschlecht, Größe, Gesundheitsstatus), Schlachtung und Bereitstellung von Geflügelschlachttierkörpern (Pute und Broiler) für die geplanten Versuchsdurchgänge. Austausch und Absprache mit Klos bzgl. tierartübergreifender Gemeinsamkeiten oder –individueller Ansprüche an die Anwendung der Dekontaminationsverfahren. Beratung hinsichtlich der Erfordernisse zur Anwendung im Schlachthof in Absprache mit LMQS und HAWK.</p>
<p>A3 Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch</p>	<p>HAWK Klos LO</p>	<p>Entwicklung von Methoden zur simulierten Kontamination von Fleischteilstücken im Zusammenhang mit der Zerlegung (Kontaminationsverschiebung im Vergleich zum Schlachtkörper: v.a. Fäkalerreger). Beginn von Einzel- und Kombinationsbehandlungen der alternativen Dekontaminationsverfahren in Abhängigkeit von den Erkenntnissen aus AP1 und AP2 auf Fleisch gegebenenfalls zunächst einer Tierart in Orientierung an</p>

(Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute		handelsüblichen Zuschnitten vom Schwein (z.B. Unterschalenschnitzel) und Geflügel (Pute: Brustmuskulatur, Broiler: Brustmuskulatur). Zur Beurteilung der zukünftigen praktischen Anwendbarkeit mit Hinblick auf die Verbraucherakzeptanz werden hier auch vergleichende sensorische Untersuchungen und Farbmessungen begonnen, um mögliche Veränderungen des Fleisches durch die Einzel- oder Kombinationsbehandlungen festzustellen. Simulierter Anwendungstest des UV-C-PW-Applikationssystems am Broiler-Schlachttierkörper.
B3 Konstruktion & Fertigung Applikationskammer/ Kabinett	LMQS	In diesem AP werden die hinsichtlich Ihrer Wirksamkeit evaluierten und parametrisierten Dekontaminationsverfahren (UV-C, PAW/ENWS-Hybrid, Starterkulturen) zu einem Funktionsmuster eines Applikationssystems („Sprüh- und Bestrahlungskabinett“) kombiniert, welches auch in relevanten Arbeitsprozessen bei den industriellen OG-Mitgliedern vor-Ort getestet wird. Dabei soll ein Konzept realisiert werden, dessen Tauglichkeit im Realbetrieb gewährleistet ist. Hierbei wird vor Allem auf Robustheit gegenüber unterschiedlicher Einsatzbedingungen sowie eines möglichen Einsatzes unter Maßgaben der Arbeitssicherheit (z.B. Spritzwasser-; Anwenderschutz, Anlagensicherung etc.) fokussiert. Im Rahmen des APs soll außerdem eine Schulung der Mitarbeiter der einzelnen OG-Mitglieder zum Betrieb des Funktionsmusters erfolgen.
C3 Auswahl, Schlachtung und Zuschnitt von Schweinefleisch	LMQS	Auswahl geeigneter Tiere (Geschlecht, Größe, Gesundheitsstatus), Schlachtung und Zuschnitt bis zum fertigen Teilstück vom Schwein, welches im Lebensmitteleinzelhandel bzw. im Großmarkt vermarktet werden könnte in Abhängigkeit von den geplanten Versuchsdurchgängen. Austausch über die Beeinflussung der sensorischen Eigenschaften des Schweinefleisches
D3 Auswahl, Schlachtung und Zuschnitt von Broiler- und Putenfleisch	LMQS	Auswahl geeigneter Tiere (Herde, Geschlecht, Größe, Gesundheitsstatus), Schlachtung, Zerlegung, Bereitstellung von handelsüblichen Geflügelteilstücken (Brustmuskulatur ohne Haut, Schenkel mit Haut) entsprechend der Versuchsdurchführungen. Beratende Unterstützung bei der Planung und ggf. Durchführung der sensorischen Untersuchungen (Attributesammlung, indiv. Assoziationen, Entwicklung eines Lexikons, Bereitstellung von Bildmaterial und ggf. unbehandelten Kontrollteilen rein für die sensorische Untersuchung).
E Ergebnisaufarbeitung und Öffentlichkeitsarbeit	Alle OG-Partner	Vorbereitung der Ergebnisse zur Präsentation, Diskussion in der Gruppe, Öffentlichkeitsarbeit (Publikationen, Messepräsentationen, populärwissenschaftliche Beiträge in deutschen Fachzeitschriften...), Statistik, Zwischen- und Abschlussbericht.

Meilensteine

- Zum 1. Meilenstein (2 Monate nach Projektbeginn):

Studium des Projektantrages, Literaturrecherche, erste Einarbeitungen in die vorgesehenen Labormethoden, Austausch zwischen den OG-Partnern
- Zum 2. Meilenstein (8 Monate nach Projektbeginn):

Anzuchtprotokolle überarbeitet bzw. angepasst. Vorversuche zur PAW- bzw. EWNS-Erzeugung abgeschlossen. Auswahl unter bestehenden Anlagen zur PAW/ENWS-Erzeugung ist erfolgt.
- Zum 3. Meilenstein (14 Monate nach Projektbeginn):

Abstimmung und Beratung aller OG-Partner über die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen bezüglich der verschiedenen Tierarten und der Schlachttechnologie. Evaluation der Kombinationen der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden auf den Schlachtkörperoberflächen. Abstimmung über die Anwendung der UV-C-Behandlungen der Proben. Parametrisierung der UV-C-Quellen weitgehend abgeschlossen.
- Zum 4. Meilenstein (20 Monate nach Projektbeginn):

Laufender Austausch Labormuster zur PAW/ENWS-Erzeugung steht zur Verfügung. Methodenentwicklung simulierte Kontamination begonnen. Versuche zur Kombinationsbehandlung der Dekontaminationsmethoden.
- Zum 5. Meilenstein (26 Monate nach Projektbeginn):

Evaluation der Keimreduktion für die Kombinationen der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden abgeschlossen. Applikationssystem für PAW-ENWS entwickelt. Methodenentwicklung simulierte Kontamination abgeschlossen. Versuche zur Applikationsreihenfolge (UV-C, PAW/ENWS, Starterkulturen) begonnen. Austausch über die Erfordernisse im Bereich der Zerlegung und Bereitstellung von Teilstücken.
- Zum 6. Meilenstein (32 Monate nach Projektbeginn):

Versuche zur Applikationsreihenfolge abgeschlossen. Entwicklung von Methoden zur simulierten Kontamination von Fleischteilstücken ist fortgeschritten. Entwicklung/Konstruktion Fertigung des Applikationssystems (kombiniert die verschiedenen Dekontaminationsverfahren) zu einem „Sprüh- und Bestrahlungskabinett“.

Sensorische Untersuchungen und Farbmessungen von Fleisch nach Dekontamination durchgeführt. Anwendungstest des Applikationssystems am Schlachttierkörper unter Realbedingungen abgeschlossen. Publikationen in Erstellung/Reviewprozess oder bereits veröffentlicht, Tätigkeiten zur Öffentlichkeitsarbeit (z.B. Messepräsentation etc.) sind erfolgt.

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?

Zur zielorientierten Bearbeitung des geplanten Projektes ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den unmittelbar beteiligten Schlachtbetrieben mit der entsprechenden Expertise und umfassenden Erfahrungswerten über die bestehende Problematik der Schlachtkörperkontamination sowie den Forschungseinrichtungen mit den jeweiligen wissenschaftlichen Schwerpunkten unerlässlich. Durch die Lohmann & Co.AG ist ein Unternehmen am Projekt beteiligt, welches in großem Stil Schlachtungen von Broilern und Puten an mehreren Standorten in Deutschland durchführt. Hier besteht ein beständiges Interesse an innovativen Entwicklungen, deren Vorteil in der anwendungsorientierten Fragestellung und der direkt Produktions-bezogenen Ausarbeitung liegen. Der Schlachtbetrieb von Mario Klos aus Niedersachsen bringt eine jahrzehntelange Expertise in der Schlachtung von Rindern und Schweinen ein und kann zusätzlich auf die konkreten Bedürfnisse mittelständischer Unternehmen aufmerksam machen, die gleichfalls mit in dieses Projekt einfließen sollen.

Seit dem Start des ebenfalls durch die EIP-Agri geförderten Projektes „PlaWaKiRi- Der Einsatz von Plasmawasser gegen Klaueninfektionen beim Rind“ besteht eine enge Zusammenarbeit zwischen den beiden Forschungseinheiten HAWK und der Stiftung TiHo Hannover. Diese vorhandenen Netzwerkstrukturen bilden die Basis des „DEALS“-Projektes. Durch die Einbindung der beiden Wirtschaftsunternehmen entsteht eine interdisziplinäre OG aller unmittelbar an der Schlachtung und Frischfleischproduktion beteiligten Akteure: Verarbeitungsbetriebe zu den in Niedersachsen besonders relevanten Fleisch-liefernden Tierarten Schwein und Geflügel (Klos und Lohmann & Co.AG), wissenschaftliche Einrichtungen zur Entwicklung und Produktion von chemischen und physikalischen Dekontaminationsverfahren (HAWK), sowie zur Anwendung biologischer Verfahren und der Lebensmittel-assoziierten Expertise (LMQS). Allen Beteiligten dieses Innovationsfeldes gemein ist das Interesse, die niedersächsische Innovationentwicklung in diesem für das Bundesland so wichtigen Produktionszweig voranzutreiben. Auf die dargestellte Weise können die angedachten Hürden (chemisch, physikalisch und biologisch) zur Anwendung in den Betrieben erarbeitet, evaluiert und vorbereitet werden: der Transfer in die ernährungswirtschaftliche Praxis mit direkten vorteilhaften Auswirkungen auf die Wirtschaft der tiererzeugenden Betriebe wird geebnet.

Die Zusammenarbeit innerhalb des Projektes kann auf mehreren Ebenen betrachtet werden. Übergeordnet sind größere Projekttreffen, zu der alle Projektpartner eingeladen waren. Sie wurden am 19. September 2023 in Hannover, am 11. Dezember 2024 in Wildeshausen und Lohne, sowie am 12. Februar 2025 in Nienhagen durchgeführt. Auch das abschließende Symposium am 08. Mai 2025 wurde von allen OG-Partnern mitgestaltet.

In der nächsten Ebene finden sich die monatlichen Projektabsprachen, die online via MS-Teams zwischen OG-Partner 1 und 2 über die gesamte Projektlaufzeit durchgeführt wurden. Hier waren die weitere Versuchsplanung, aktuelle Erkenntnisse und zu diskutierende Einflussfaktoren, sowie die Vorbereitung von Multiplikatorveranstaltungen bzw. die damit assoziierte Organisation Gegenstand der Gespräche.

Untergeordnet fanden die Absprachen zwischen den unmittelbar beteiligten Projektpartnern (z.B. Auswahl und Lieferung der Materialien von den Schlachtbetrieben, Anfertigung und

Transport von PAW...) auf direktem Wege via E-Mail, Telefon oder Messengerdiensten statt. Die Vorbereitung und der Austausch der Dokumente bezüglich der Zwischenberichte wurde überwiegend via E-Mail und postalisch abgewickelt.

2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projektes als OG?

Umfangreiche Untersuchungen zur Anwendung des PAWs als innovatives Dekontaminationsmittel haben neue Erkenntnisse für weitere Anwendungsmöglichkeiten, aber auch für Herausforderungen im Einsatz mit sich gebracht. Es ist durchaus davon auszugehen, dass der Einfluss der behandelten Matrix selbst nicht zu unterschätzen ist und auch allgemein die Behandlungsbedingungen (Lagerzeit, Temperatur, potenzielle Störfaktoren wie Proteine, Schmutzpartikel etc.) einen noch weiter zu betrachtenden Einfluss haben können.

Darüber hinaus ist der interdisziplinäre Austausch zwischen den OG-Partnern, insbesondere auch mit den beiden beteiligten Praxisbetrieben sehr wertvoll und bietet unmittelbaren Anschluss für die Entwicklung von Forschungsfragen mit realen Betriebsbedingungen. Wissenschaftliche Fragestellungen konnten so sinnvoll und anwendungsorientiert ausgerichtet und bearbeitet werden.

2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes vorgesehen?

Der bestehende Kontakt zwischen allen OG-Mitgliedern wird auch nach dem Projekt bestehen bleiben. Es sind gute Kontakte geknüpft worden, die sowohl in neuen Forschungsfragen im Zusammenhang mit diesem EIP-Projekt, als auch mit weiteren Themen fortgeführt werden sollen. Die OG-Mitglieder TiHo und HAWK befinden sich seit ca. 1 Jahr in einer wissenschaftlichen Kooperation im Rahmen des Wissenschaftsraums im Forschungsprojekt „Gesundes Leben mit Plasma“ (GeIP). Die Ausweitung der Forschungsprojekte im Bereich der Anwendungsmöglichkeiten von Plasmatechnologie im Lebensmittelkontext ist vorgesehen.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

Nachfolgend werden die Ergebnisse des Projektes DEALS vorgestellt. Mit den Zielen des Projektes beginnend, werden daran orientiert Abweichungen im Projektverlauf dargestellt. Erkenntnisse bei der Umsetzung des innovativen Kombinationsgedankens haben zu Abweichungen gegenüber der ursprünglichen Planung geführt, die dann modifiziert umgesetzt und/oder neu ausgerichtet werden konnten. Dies lässt sich im beschriebenen Projektverlauf nachvollziehen.

Auch der Beitrag zu den förderpolitischen EIP-Themen wird aufgezeigt, bevor interessante Ergebnisse, die neben den ursprünglich anvisierten Zielen erhoben wurden, angesprochen werden. Auch die Arbeiten, für die es bisher noch keine Lösung bzw. kein erfolgreiches Umsetzen gegeben hat, werden hier angesprochen und Potenziale für eine neue, etwas anders ausgerichtete Bearbeitung der Themen aufgezeigt.

Zuletzt werden zukünftige Verwendungsmöglichkeiten für die Projekt-assoziiert erworbenen Investitionsgüter vorgestellt.

2.4.1 Zielerreichung

Projektziele:

Der Ansatz des DEALS-Projektes lässt erwarten, dass Einschätzungen zur Einzel- und insbesondere zur Kombinationsbehandlung der Dekontaminationsbehandlungen von Schlachttierkörpern und Teilstücken mit UV-C, PAW, EWNS und Starterkulturen gegeben werden können.

Es ist das Ziel des Projektes, die vielversprechendste (Kombinations-) Variante zu identifizieren und an den verschiedenen relevanten Mikroorganismen zu testen.

Am Ende sollen Empfehlungen ausgegeben werden, die in Abhängigkeit der erwarteten Mikroorganismen (z.B. *Campylobacter* als Geflügel-spezifische Problematik), der technischen Gegebenheiten an den Schlachtstätten und den Zeitpunkt des Einsatzes (Schlachttierkörper vs. Teilstück) unter Berücksichtigung der Bedürfnisse entlang der gesamten Wertschöpfungskette formuliert werden.

Zusätzlich sind Erkenntnisse über die Entwicklung eines Funktionsmusters zur Kombinationsbehandlung gewonnen worden, die zielgerichtet und angepasst den Schritt in die praktische Implementierung an den Schlachthöfen erleichtern.

Aufgrund der engen Verzahnung der verschiedenen OG-Partner aus Wissenschaft, Forschung und Praxisbetrieben sind die Ergebnisse auf den praktischen Nutzen sowohl auf die Anwendung in kleinen, als auch in größeren Betrieben ausgerichtet (entsprechend der RIS3-Strategie).

Eine Aussage über die Eignung zur Anwendung dieser neuen Impulse als Beitrag zur Ressourcenschonung ist übergeordnetes Ziel.

OG 1

An der TiHo wurde stetig daran gearbeitet, die vorgesehenen Ziele, auch durch etwaige Umstrukturierung der Versuchsabschnitte, zu erreichen. Aufgrund des späteren Beginns der Arbeiten (s. auch 2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis) verschoben sich die Meilensteine um ca. drei Monate. Die Arbeiten wurden zunächst soweit möglich von Frau Bernhardt begonnen und erste Arbeitspaketabschnitte abgeschlossen. Nach Einstellung von Frau Vanessa Große-Peclum als wissenschaftliche Mitarbeiterin konnte diese sich durch die Vorarbeit von Frau Bernhardt und ihrer Vorkenntnisse aus dem „PlaWaKiRi“ Projekt zügig einarbeiten und durch erneute Literaturrecherche zu den Arbeiten /der weiteren Versuchsplanungen beitragen. Es erfolgte eine Überarbeitung des Zeitdiagramms unter Absprache mit den anderen OG-Partnern. Die Arbeitspakete wurden zum Teil gestreckt, sodass sich die Aufgaben großflächig überlappen bzw. in einander verschachtelt sind. Auf Grund der Überlappung wurde beispielsweise während den laufenden Versuchen des AP A1 „Anwendung von Starterkulturen“ sowie „Reduktionsversuche mit Plasma-aktiviertem Wasser“, mit den Arbeiten zu AP A2 „Anwendung von UV-C-Behandlung auf Schweineschwarte und Geflügelhaut“ begonnen. Hierdurch sollte ein zügiges Voranschreiten im Projektablauf erreicht werden. Somit konnten AP A1 und A2 fast zeitgleich beendet werden und die dort gewonnenen Erkenntnisse bereits frühzeitig in Teilen auf das Fleisch (AP A3) übertragen werden.

Am 22. Januar 2025 haben die OG-Partner einen Antrag auf kostenneutrale Verlängerung des Projektes gestellt. Aufgrund der späteren Besetzung der Stellen im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie konnte nicht die gesamte, ursprünglich vorgesehene Projektzeit im Förderzeitraum bis zum 30. April 2025 umgesetzt werden. Auch die beschriebenen Nachjustierungen insbesondere bei der kombinierten Anwendung der Dekontaminationsverfahren führten zu Verzögerungen, sodass die beantragten Analysen nicht vollumfänglich bis zum ursprünglich bewilligten Projektende umgesetzt werden konnten. Nach stattgegebener Verlängerung konnte der überwiegende Teil der Untersuchungen zumindest exemplarisch dargestellt werden. Es wurde sich unter anderem insbesondere bei der Pute verstärkt auf die relevantesten Mikroorganismen fokussiert, da die Erkenntnisse hinsichtlich der Handhabung und Anwendung aus den vorhergehenden Untersuchungen am Hähnchen übertragen werden konnten.

Es konnten die in vitro Versuche zum Arbeitspakt A1 (AP A1) erfolgreich abgeschlossen werden sowie die Versuche zur UV-C-Behandlung und PAW-Behandlung von Schweineschwarte, Hähnchenhaut und Putenhaut (nur UV-C). Die gewonnenen Erkenntnisse aus AP A2 wurden auf das AP A3 erfolgreich übertragen und somit konnten auch die UV-C-Behandlungen und PAW-Behandlungen von Schweine-, Hähnchen- und Putenfleisch (nur UV-C) beendet werden.

Zu Letzt konnte die kombinierte Anwendung von UV-C-Bestrahlung und PAW auf Schweineschwarte, Lachsschinken, Hähnchenhaut und -fleisch bis zum Abschluss des Projektes umgesetzt werden sowie die sensorische Untersuchung von Hähnchenfleisch nach Behandlung der verschiedenen Verfahren mit Hilfe eines ausgewählten Panels.

OG 3 und 4

Die Zuarbeit der Schlachtbetriebe durch die Auswahl geeigneter Materialien und deren zeitgerechte Bereitstellung ist maßgebliche Grundlage für die Arbeiten innerhalb des Projektes und demnach unabdingbar für die Durchführung des Versuchsansatzes. Gemeinsam konnte ein entsprechender Beitrag zur Untersuchung des innovativen Kombinationseinsatzes der verschiedenen Dekontaminationsverfahren geleistet werden, um den EIP-Zielen der Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette Fleisch und der Ressourcen-schonenden Handhabung zu entsprechen. Die unmittelbare Einbindung der Praxisbetriebe ermöglichte eine entsprechende Orientierung an den Bedürfnissen der Primär- bzw. Nachgeschalteten Verarbeitungsbetriebe. Eine Weitergabe der Erkenntnisse und die unmittelbare Diskussion ebnet den Weg für einen gelungenen Transfer in der Zukunft.

2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis

OG 1

Durch die späte Besetzung der technischen und vor allem der wissenschaftlichen Stelle kam es zu Abweichungen vom ursprünglichen Zeitdiagramm, jedoch konnten viele geplante Arbeiten innerhalb des verbliebenen Zeitraumes abgearbeitet werden. Das AP A1 wurde für die Teilbereiche Anwendung von UV-C und Anwendung von PAW erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen der Versuchsreihe „Anwendung von Starterkulturen“ wurde der Versuchsablauf angepasst und ein alternatives Verfahren (Agar-Diffusions-Test) eingesetzt, da die Ergebnisse

nicht zufriedenstellend ausfielen. Der ursprüngliche Versuchsaufbau wurde an die Gegebenheiten im Schlachthof angelehnt. Da die Keime auf Schlachttierkörpern bzw. zerlegten Teilstücken (= Fleisch) eine komplexere Matrix zur Verfügung haben, die begünstigend auf das Wachstum wirken könnte, wurden die Versuche „Anwendung von Starterkulturen auf Fleisch“ im Rahmen des AP A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“ vorgezogen. Bei keiner Behandlungsvariante konnte eine signifikante Reduktion der Pathogene festgestellt werden. In Verbindung mit den in-vitro-Versuchen wurde sich in Absprache mit den OG-Partnern 2 dazu entschlossen, eine Behandlung mit Starterkulturen als alternative Flora nicht mit in die Kombination verschiedener Dekontaminationsverfahren zu übernehmen. Unter den gegebenen Bedingungen schien es nicht aussichtsreich, weitere Ressourcen in die Implementierung dieses Verfahrens zu investieren. Weitere Versuchsdurchläufe mit der bisherigen Stamm-Kombination oder eine komplette Umstellung auf andere Starterkulturen mit entsprechend vielzähligen und umfangreichen Versuchen zur Überprüfung der Wirkung einzelner Stämme hätte den Rahmen dieses Projektes deutlich überschritten. Es ist zu überlegen, ob nach Vorversuchen mit anderen Starterkultur-Stämmen in einem weiteren Projekt an diese Thematik konzentriert angeknüpft werden sollte.

Die Einzelverfahren im AP A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“ sowie im AP A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein und Geflügel“ konnten erfolgreich für die Tierarten Schwein und Hähnchen abgeschlossen werden. Für die geplanten kombinierten Behandlungen wird nur das Bakterium *C. coli* aus den Versuchen ausgeschlossen, da es sich in der Auswertung als nicht reproduzierbar dargestellt hat. Dies führte zu unzuverlässigen Daten, die keinen gesicherten Mehrwert für die Versuchsreihe bieten. Mit der weiteren Untersuchung von *C. jejuni* blieb jedoch ein zentraler Erreger von Geflügelschlachtkörpern in diesem Projekt erhalten.

Bei der UV-C-Behandlung von Putenhaut und -fleisch wurde sich zur Förderung der Fortschritte im Projekt, dafür entschieden mit den drei relevanteren der fünf Keime zu arbeiten. Beruhend auf den vorherigen Erkenntnissen wurden die Keime *E. coli*, *S. Typhimurium* und *C. jejuni* für die Versuchsreihen eingesetzt. Zudem wurde sich dazu entschieden für weitere Erkenntnisse eine sensorische Untersuchung der verschiedenen Behandlungsverfahren vorzuziehen, weshalb die PAW-Einzelbehandlungen und die kombinierte Anwendung bei der Pute nicht mehr bearbeitet werden konnte.

OG 2

Im Rahmen des Vorhabens wurde in den Arbeitspaketen B1, B2 und B3 die planmäßige Entwicklung, Fertigung und Evaluation eines Funktionsmusters für die Dekontamination von Schlachttierkörpern mittels PAW, EWNS und UV-C-Strahlung angestrebt. Trotz weitgehender Zielerreichung wurden im Projektverlauf mehrere Abweichungen zwischen der ursprünglichen Planung und der tatsächlichen Umsetzung identifiziert, die überwiegend durch technische, materialeitige und anforderungsgetriebene Herausforderungen bedingt waren.

Arbeitspaket B1 – „Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-/EWNS-Systems“

Gemäß Projektplanung sollte im Arbeitspaket B1 ein geeigneter PAW-Erzeuger entwickelt, optimiert und mit einem EWNS-System kombiniert werden. Im praktischen Verlauf zeigte sich, dass insbesondere die Anwendung von PAW-Lösungen mit TRIS-Puffer in Verbindung mit elektrostatischen oder anderen feinerstäubenden Applikationsverfahren zur unerwarteten Ausbildung von Salzkrustenbildung im Sprühkopf führte und mithin wiederholt Funktionsstörungen und Blockaden der Düsen hervorrief. Diese Auskristallisation stellte eine bedeutsame Limitation dar, die in der Planung nicht in diesem Ausmaß berücksichtigt war. In der Folge mussten alternative Zerstäubersysteme getestet und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet werden, was einen Mehraufwand an Entwicklungszeit und Experimenten erforderte. Erst der Einsatz eines pneumatischen Zerstäubers (ZERSTAUB M5 B) ermöglichte eine ausreichend konstante Applikation von PAW-TRIS-Lösungen.

Arbeitspaket B2 – „Applikationssystem und Applikationsreihenfolge“

Für die Entwicklung und Erprobung des Applikationssystems im Sprühkabinett ergab sich auf Basis der Erkenntnisse aus B1 eine signifikante Anpassung: Anstelle der initial angedachten elektrostatischen Sprühverfahren wurde ein auf die spezifischen Materialeigenschaften zugeschnittenes pneumatisch-mechanisches Applikationssystem realisiert und kontinuierlich weiterentwickelt. Die Langzeitstabilität der Dosismengen bei PAW-TRIS erwies sich als herausfordernd, wodurch eine systematische Analyse und Kontrolle der Dosierungsvariabilitäten notwendig wurde. Durch die Implementierung routinemäßiger Reinigung und Qualitätskontrollen konnte das Funktionsmuster jedoch an die projekt- und praxisrelevanten Anforderungen angepasst werden.

Arbeitspaket B3 – „Funktionsmuster, Praxiserprobung und Modifikationen“

Die Kombination der Dekontaminationsverfahren (PAW/UV-C) und die Überführung in ein praxistaugliches, modulares Funktionsmuster erfolgte im Grundsatz entsprechend der Projektplanung. Im Zuge der praktischen Validierung, insbesondere der Testläufe und der Übergabe an die TiHo Hannover, traten jedoch weitere, zuvor nicht vorhergesehene, Modifikations- und Optimierungserfordernisse zutage. Zum einen betraf dies die erforderliche exakte Zentrierung des Sprühsystems über dem Transportband, um eine homogene Applikation der Dekontaminationslösung abzusichern. Zum anderen führte die Notwendigkeit einer verbesserten Reinigungsfreundlichkeit des Innenraums zur umfassenden Neugestaltung von Gehäuse und Wartungskappen. Ferner erforderte die differenzierte Regulierung der Lichtspaltbreite der UV-C-Quelle eine konstruktive Erweiterung des Systems durch Führungs- und Abschirmelemente.

Alle diese Anpassungen wurden im engen Austausch mit den anwendenden Projektpartnern initiiert und umgesetzt. Sie stellen gezielte Reaktionen auf praxisnahe Erprobungen dar und waren im ursprünglichen Konzept mit diesem Detaillierungsgrad nicht vorgesehen, sie verbesserten jedoch entscheidend die Praxistauglichkeit, Wartungsfreundlichkeit und die wissenschaftliche Vergleichbarkeit des entwickelten Funktionsmusters.

Zusammenfassende Bewertung

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die intendierten Projektziele trotz unerwarteter technischer Herausforderungen im Wesentlichen erreicht werden konnten. Die im Projektverlauf erforderlichen Abweichungen und Adaptionen betrafen insbesondere technologische Details der Medienapplikation, konstruktive Aspekte des Gesamtsystems sowie die Prozesse der Qualitätssicherung. Die frühzeitige Identifikation und iterative Lösung dieser Problemstellungen trugen dazu bei, das finale System maßgeblich an die Anforderungen der praktischen Anwendung und zukünftigen Forschungsvorhaben anzupassen. Die gezielte Umsetzung von Optimierungen in enger Rückkopplung mit den Anwendungspartnern ermöglichte ein leistungsfähiges, flexibles und robustes Funktionsmuster, das die Basis für weiterführende Untersuchungen in akademischem und industriellem Umfeld bildet.

OG 3 und OG 4

Mit Bezug auf die beiden Schlachthof-Partner des Projektes sind keine inhaltlich entscheidenden Abweichungen in den Projektaufgaben aufgetreten.

In Abhängigkeit vom jeweiligen Arbeitspaket wurden die Tiere ausgewählt, die notwendigen Proben vorbereitet und zur Verfügung gestellt. Anpassungen im zeitlichen Verlauf bzw. in der Anwendung der jeweiligen Dekontaminationsverfahren wurden bereits in der Darstellung der TiHo erläutert.

2.4.3 Projektverlauf

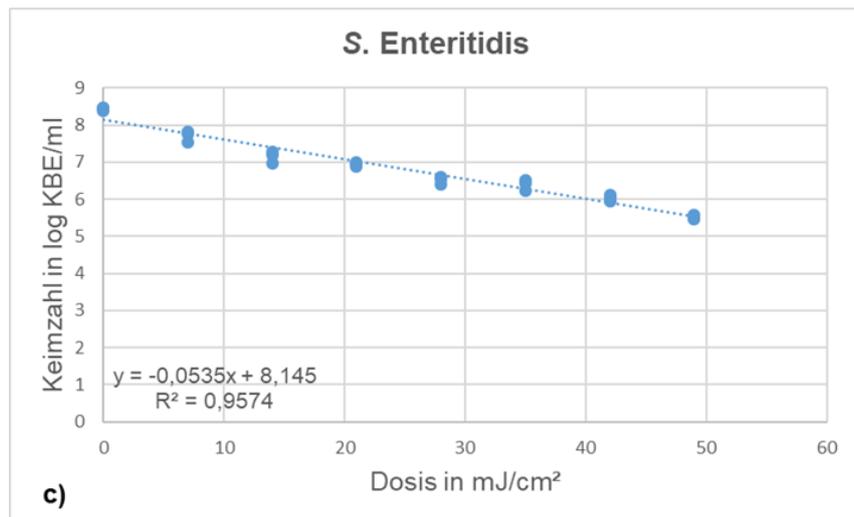
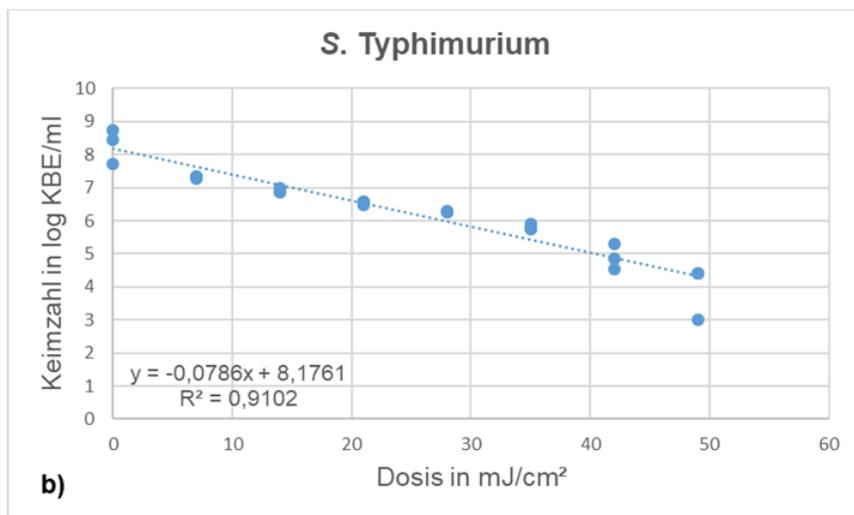
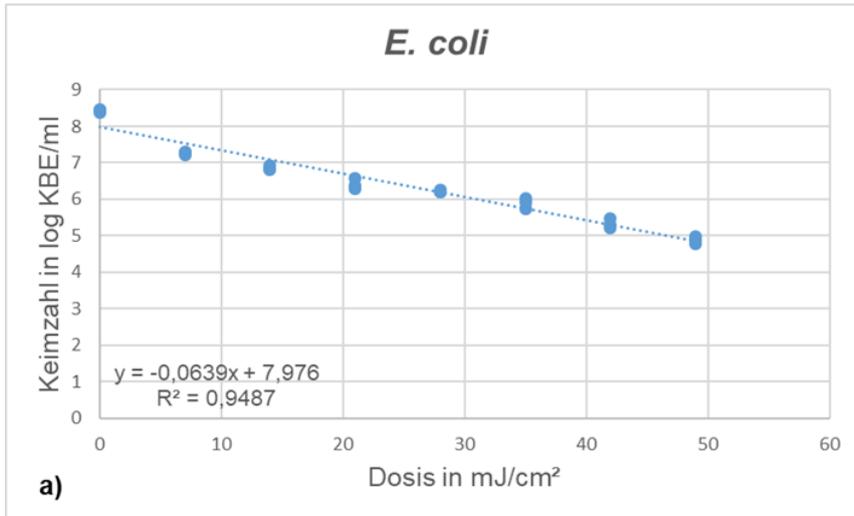
OG 1

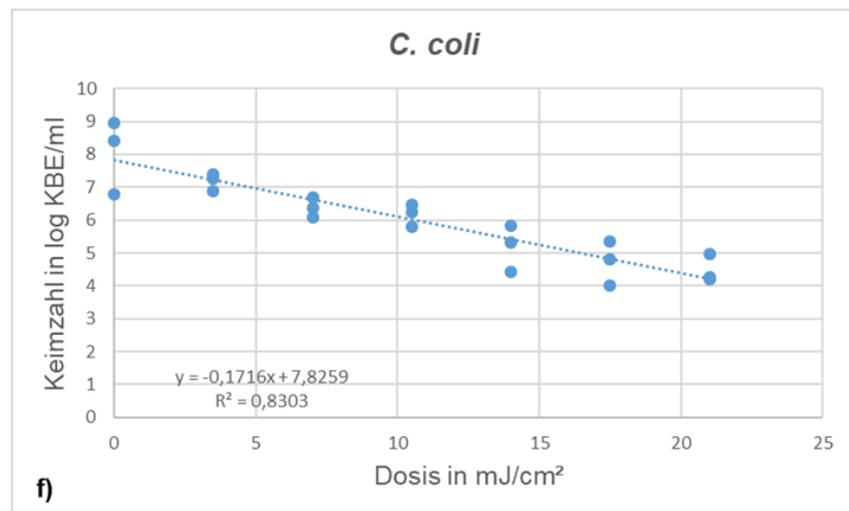
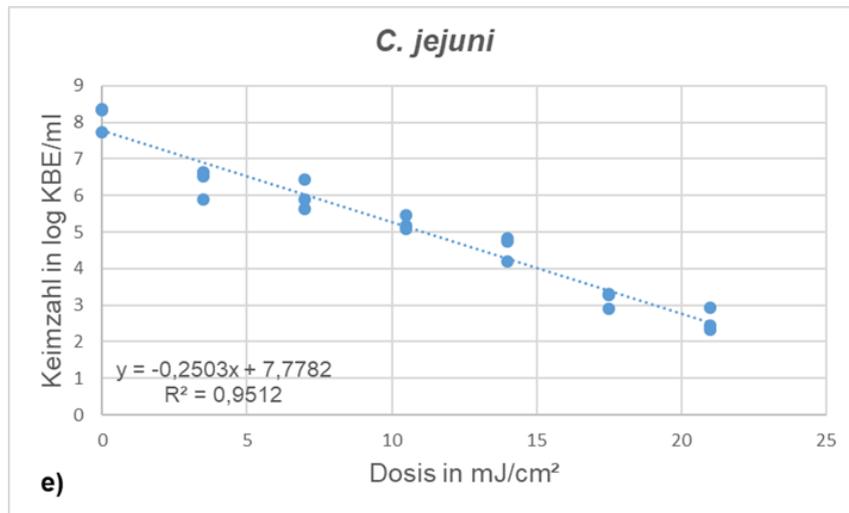
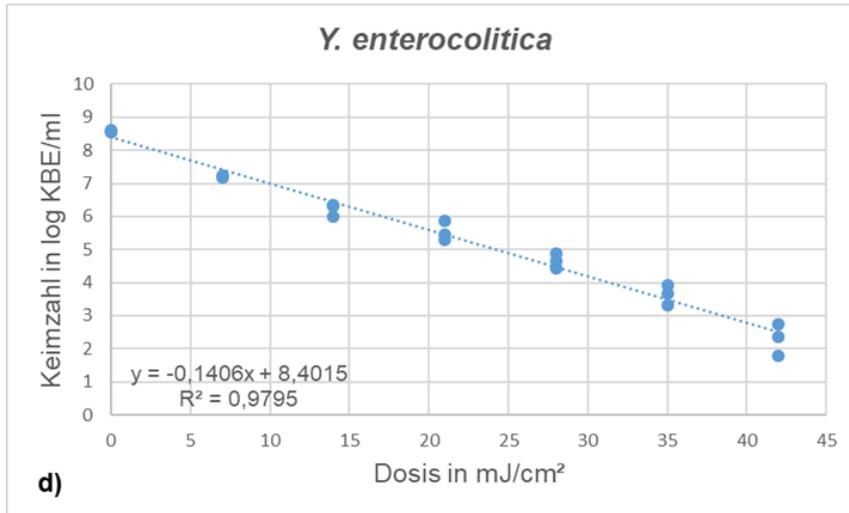
2.4.3.1 Arbeitspaket A1 „In-vitro Studien zur Anzucht und Keimreduktion an ausgewählten Mikroorganismen“

Das Projekt wurde mit der Auswahl der relevanten Mikroorganismen und mit der anschließenden Erstellung von Anzuchtprotokollen für die pathogenen Keime, *E. coli* (DSM682), *C. jejuni* (DSM4688), *C. coli* (Feldstamm Brust 1994/17), *Y. enterocolitica* (2874-4), *S. Typhimurium* (DSM19587), *S. Enteritidis* (DSM14221), sowie für die beiden Starterkulturen *L. sakei* (DSM 6333) und *Staph. carnosus* begonnen.

In vitro UV-C-Behandlung

Es folgten in vitro- Versuche mit UV-C-Bestrahlung, um eine Absterbekinetik für jeden Keim zu ermitteln, dabei wurden mindestens 3 Durchgänge mit je 6 bzw. 7 Bestrahlungszeiten durchgeführt. Die Keime wurden hierfür mittels McFarland-Standards auf 10^8 KbE/ml eingestellt. Es wurde ein Volumen von 70 ml benötigt, welches anschließend auf Petrischalen aufgeteilt wurde (10 ml pro Petrischale). Diese wurden dann für die jeweilige Behandlungszeit unter die UV-Lampe gestellt. Die folgenden Abbildungen (Abb. 2 a) – h)) zeigen die Reduktionen der Keimzahlen in Abhängigkeit von der Einwirkzeit des UV-C-Lichtes. Als Ziel der Behandlung wurde eine Reduktion um 3-log Stufen festgesetzt, da diese auch in Publikationen als relevante Senkung des Keimgehaltes betrachtet wird (Reichel et al., 2019).





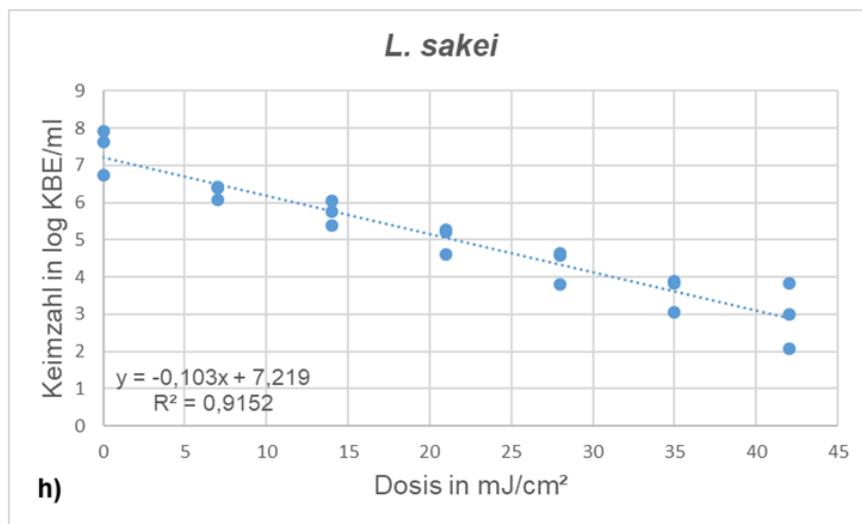
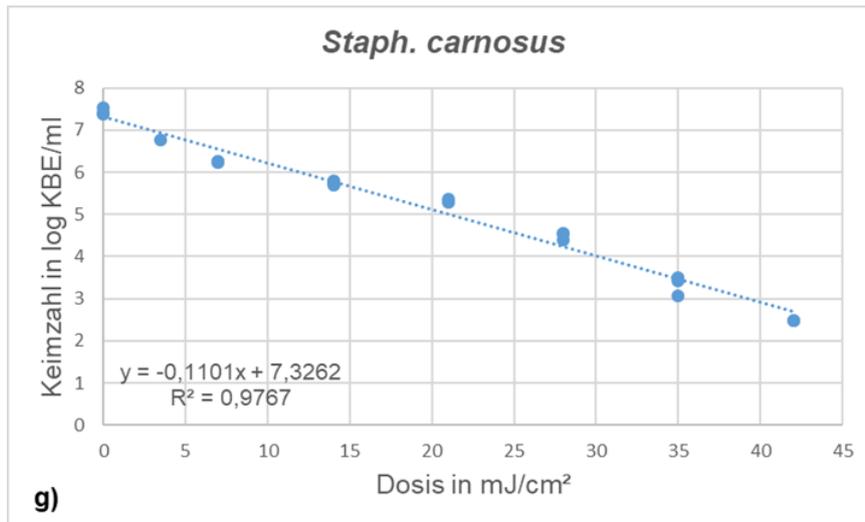


Abb. 2 a) – h): Absterbekinetiken bei Anwendung von UV-C-Behandlung auf Projekt-relevante Mikroorganismen für die vorgesehenen pathogenen Keime a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium*, c) *S. Enteritidis*, d) *Y. enterocolitica*, e) *C. jejuni*, f) *C. coli* und die Starterkulturen g) *Staph. carnosus* und h) *L. sakei* unter Angabe des Bestimmtheitsmaßes R^2 .

Die den Abbildungen zu entnehmenden Daten ergeben sich folgende benötigte Dosen für eine 3-log Stufen Reduzierung:

Tabelle 2: Notwendige UV-C Dosis für eine 3-log Reduktion der Mikroorganismen, aufgeteilt für die Projekt-bezogenen pathogenen Keime (links) und die vorgesehenen Starterkulturen (rechts)

Mikroorganismus (Pathogen)	Benötigte Dosis in mJ/cm²	Mikroorganismus (Starterkultur)	Benötigte Dosis in mJ/cm²
<i>E. coli</i>	39,927	<i>Staph. carnosus</i>	26,208
<i>S. Typhimurium</i>	36,115	<i>L. sakei</i>	27,009
<i>S. Enteritidis</i>	50,848		
<i>Y. enterocolitica</i>	20,047		
<i>C. jejuni</i>	10,508		
<i>C. coli</i>	16,261		

Mit zunehmender zeitlicher Exposition der Mikroorganismen unter dem UV-C-Licht steigt die Dosis, sodass die in Tabelle 2 angegebenen Werte die Dosis angeben, mit der in vitro eine 3-log-Stufen-Reduktion erreicht werden kann.

In vitro Behandlung mittels Starterkulturen

Die Reduktionsversuche mittels Starterkulturen (*St./Staph. carnosus* und *L. sakei*) wurden mit *E. coli* (DSM 682) und *S. Enteritidis* (DSM 14221) durchgeführt.

Die beiden Starterkulturen wurden jeweils mit *E. coli* und *S. Enteritidis* cokultiviert, um die Wirkung dieser als Konkurrenzflora zu ermitteln. Hierbei wurde die Probenvermischung der Bakterien entweder zunächst bei 37°C und dann nach 2,5 h bis 24 h nach Beginn der Cokultivierung bei 4°C, oder durchgehend bei 4°C für 24 h cokultiviert, um die Abkühlung der Schlachtkörper im Verlaufe des Schlachtprozesses (37°C, 4°C) oder die Anwendung auf gekühltem Fleisch (nur 4°C) zu simulieren (Abb. 3 und 4). Es wurden Proben direkt nach dem Vermischen der verschiedenen Bakterien und am Ende der 24 stündigen Lagerung untersucht. Es wurden mindestens 3 Durchgänge für beide Pathogene durchgeführt. Die den Abbildungen zu entnehmenden Daten zeigen, dass sowohl bei *E. coli* (Abb. 3) als auch bei *S. Enteritidis* (Abb. 4) keine Auswirkungen nach Zugabe und Cokultivierung von Starterkulturen über 24 h zu erkennen sind.

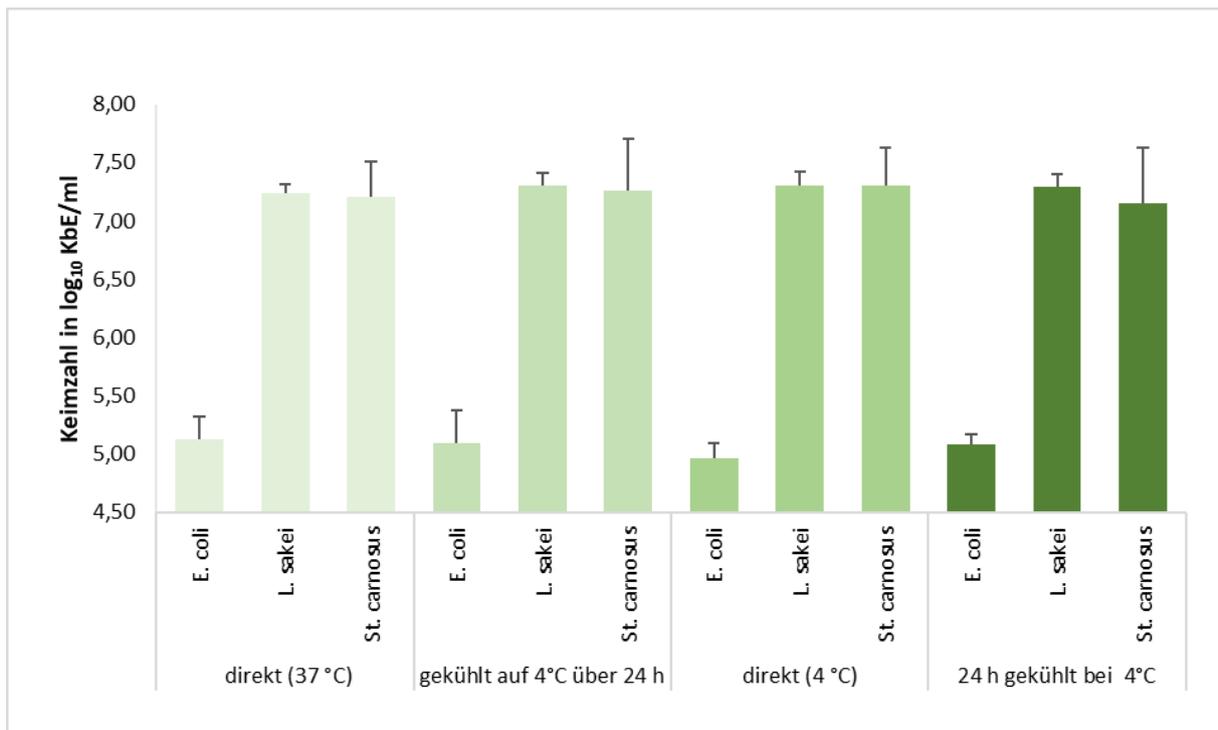


Abb. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen von *L. sakei*, *St. carnosus* und *E. coli* nach Cokultur für 24 h bei 37 °C und 4 °C.

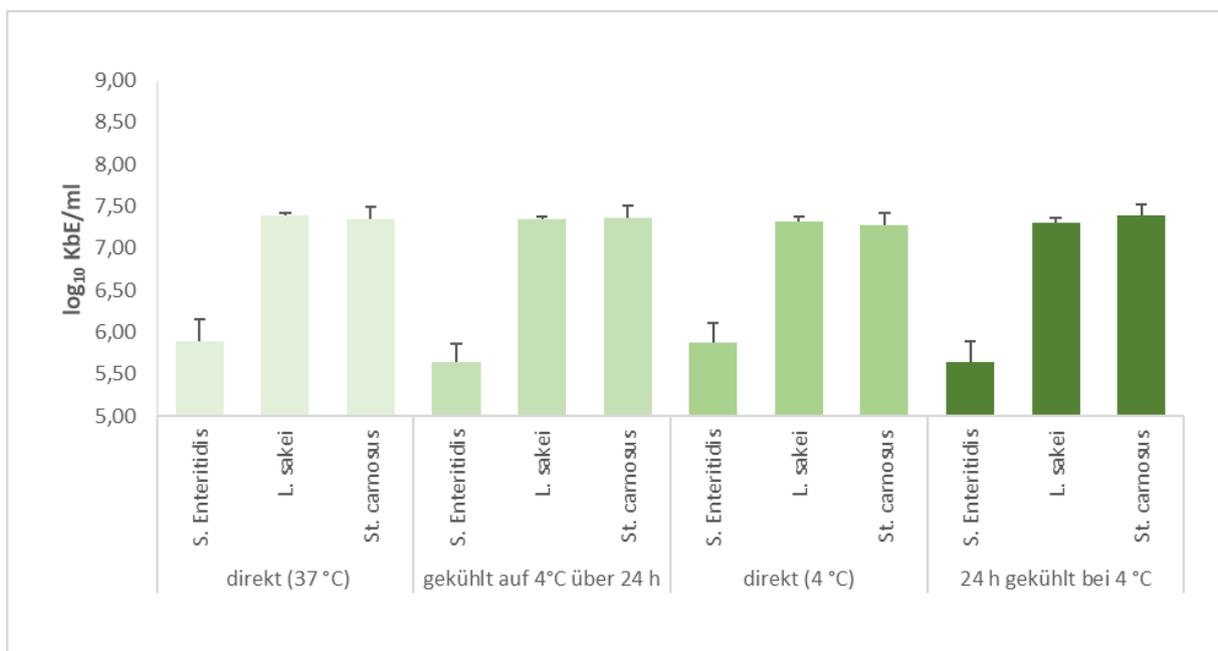


Abb. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Keimzahlen von *L. sakei*, *St. carnosus* und *S. Enteritidis* nach Cokultur für 24 h bei 37°C und 4°C.

Aufgrund der Ergebnisse aus den beiden Versuchen wurden mögliche Ursachen der nicht vorhandenen Keimreduktion zusammengetragen. Unter anderem können die konstante Temperatur von 4 °C, aber auch die Temperatursenkung von 37 °C auf 4 °C dafür

verantwortlich sein, dass die Bakterien keine optimalen Wachstumsbedingungen zur Verfügung haben und somit keine Vermehrung stattfinden kann, wie anhand der gleichbleibenden Keimzahlen zu vermuten ist. Daraus resultiert, dass kein potentieller Einfluss der Starterkulturen auf die Pathogene erkennbar wurde. Der Versuchsaufbau wurde den aktuellen Gegebenheiten im Schlachthof angelehnt, die Keime haben auf Schlachttierkörpern bzw. Teilstücken jedoch eine komplexere Matrix zur Verfügung, die begünstigend auf das Wachstum wirken könnte. Zudem ist es möglich, dass die gewählten Starterkulturen keine bakterizide Wirkung gegen die im Projekt berücksichtigten Pathogene ausüben.

Die Versuche wurden durch den Agar-Diffusions-Test (Agar-Well-Diffusionstest) erweitert. Hierbei wurden die Pathogene mittels McFarland-Standards auf einen Ausgangskeimgehalt von 10^8 KbE/ ml eingestellt. Im Doppelansatz wurden jeweils 500 µl eines Pathogens in 20 ml flüssigem Plate Count (PC)-Agar verteilt, in eine Petrischale gegossen und soweit abgekühlt, dass drei Stanzen (0,6 mm Durchmesser) aus dem Agar herausgelöst werden konnten (s. Abb. 5). In die Vertiefungen wurden anschließend 60 µl der Starterkulturen gegeben (*St. carnosus* oder *L. sakei*). Die Platten wurden für 24 h bei 37 °C (Bebrütungstemperatur von *St. carnosus* nach ISO 6888) bzw. 25 °C (Bebrütungstemperatur von *L. sakei* nach ISO 10168) bebrütet.

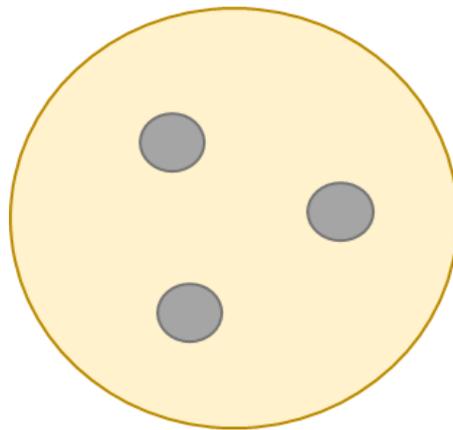


Abb. 5: Schema der Stanzen-Entnahme. Plate-Count-Agar mit Bakterienrasen (Pathogen; gelb) und ausgestanzten Löchern für die Starterkulturen *L. sakei* oder *St. carnosus* (graue Kreise) während Cokultur für 24 h bei 37 °C bzw. 25 °C.

Bei positiver Hemmung des Pathogens durch die Starterkultur entstünde um das Stanzloch mit der Starterkultur ein sogenannter Hemmhof, in dem kein Bakterienrasen sichtbar wäre. Je nach Ausprägung der Hemmstärke wies der Hemmhof einen unterschiedlich großen Durchmesser auf. In den im Rahmen des Projektes durchgeführten Versuchsdurchläufen konnte jedoch bei keiner Starterkultur-Pathogen-Kombination ein Hemmhof festgestellt werden. Die komplexere Matrix der Schlachttierkörperoberfläche bzw. der Fleisch-Teilstücke könnte sowohl bessere Wachstumsbedingungen für die Starterkulturen, als auch für die pathogenen Mikroorganismen darstellen. Um diesen Einfluss im Projekt trotz der nicht erfolgreichen *in vitro*-Versuche mit abzufragen, wurden Inokulationsversuche mit Starterkulturen auf Schweine- und Geflügelfleisch durchgeführt (s.2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“).

In vitro Behandlung mittels PAW

Über die gesamte Projektzeit fand ein regelmäßiger Austausch mit der HAWK statt. Zu Beginn der Versuchsreihe wurde insbesondere die Eignung der bisher verwendeten Pufferlösung für die Sprühanwendung diskutiert. Die bislang verwendete Konzentration des TRIS-Puffers zur Herstellung des gepufferten PAWs führte in den Sprühgeräten zu einer Auskristallisation, weshalb entsprechende Anpassungsmöglichkeiten evaluiert wurden.

Nach Absprache wurde sich dazu entschieden, folgende neue Pufferlösungen zur Herstellung des PAWs einzusetzen und deren Wirksamkeit zu überprüfen: Urea, Ammoniumchlorid, Ammoniumcarbonat und destilliertes Wasser.

Für die Versuche wurde zunächst *E. coli* ausgewählt, der über McFarland-Standards auf eine Keimzahl von 10^8 KbE/ ml eingestellt wurde. Als Negativkontrolle wurden die Puffer jeweils auf den pH-Wert des erzeugten PAWs eingestellt, um einen pH-Effekt ausschließen zu können. Im Anschluss wurden jeweils 1 ml der Bakterienkultur mit 9 ml PAW bzw. Puffer vermischt und für 1 min inkubiert. Die Einwirkzeit wurde anhand früherer erfolgreicher Studien mit dem TRIS-Puffer gewählt. Nach Beendigung der Inkubation erfolgte die mikrobiologische Untersuchung mittels Verdünnungsreihe und Spatelverfahren.

Die Ergebnisse zeigten bei keinem der eingesetzten Puffer/ PAWs eine Reduktion von *E. coli*. Eine Erhöhung der Inkubationszeit wurde diskutiert, da diese zu einer möglichen Keimreduktion führen könnte. Im Vergleich zum bisher verwendeten TRIS-Puffer wäre die Effektivität allerdings schlechter, weshalb nach erneuter Rücksprache mit der HAWK keine der oben genannten Puffer eingesetzt wurde. Die HAWK führte daraufhin eine ausführliche Untersuchung über die genauen Auswirkungen der Anwendung des TRIS-Puffers im Sprühgerät durch (s. 2.4.3.5 Arbeitspaket B2 „Entwicklung Applikationsform der Dekontaminations-verfahren zum Einsatz im Sprühkabinett“). Da eine wiederholte und längerfristige Sprüh- Anwendung keine negativen Auswirkungen auf den Sprühvorgang selbst ergeben hat, konnte an der TiHo mit den in vitro-Versuchen mittels TRIS-gepuffertem PAW begonnen werden.

Für die Versuche wurden zunächst alle im Projekt vorhandenen Keime über McFarland-Standards auf eine Keimzahl von 10^8 KbE/ ml eingestellt. Im Anschluss wurden jeweils 1 ml der Bakterienkultur mit 9 ml Tb-PAW bzw. Puffer (Kontrolle) vermischt und für 1, 5, 10 und 15 min inkubiert. Nach Beendigung der Inkubation erfolgte die mikrobiologische Untersuchung mittels Verdünnungsreihe und Spatelverfahren. Die Ergebnisse (Abbildung 6) zeigen, dass sowohl *E. coli* als auch *C. jejuni* bereits nach 1 min Behandlungszeit signifikant um ca. 3 \log_{10} -Stufen reduziert werden konnten. Bei *Y. enterocolitica* und *S. Enteritidis* zeigte sich eine ähnliche Abstufung der Keimzahlen. Diese ist auch bei *S. Typhimurium* zu erkennen, aufgrund einer höheren Standardabweichung bei der 5- minütigen Einwirkzeit war diese jedoch nicht statistisch darstellbar. Bei diesen drei Keimen konnten sig. Reduktionen ab 5 min (*S. Typhimurium* ab 10 min) festgestellt werden, jedoch nicht mehr zwischen 10 min und 15 min Behandlungszeit. Das PAW konnte bei *C. coli* ebenfalls ab einer Behandlungszeit von 5 min eine sig. Reduktion erzielen, welche bei weiterer Behandlungszeit unverändert blieb.

Aufgrund der Reduktion des Pathogens *S. Typhimurium* bei 10 min wurde für die Versuchsreihen mit PAW-Anwendung auf Haut bzw. Fleisch mit einer Behandlungszeit von 10 min weitergearbeitet.

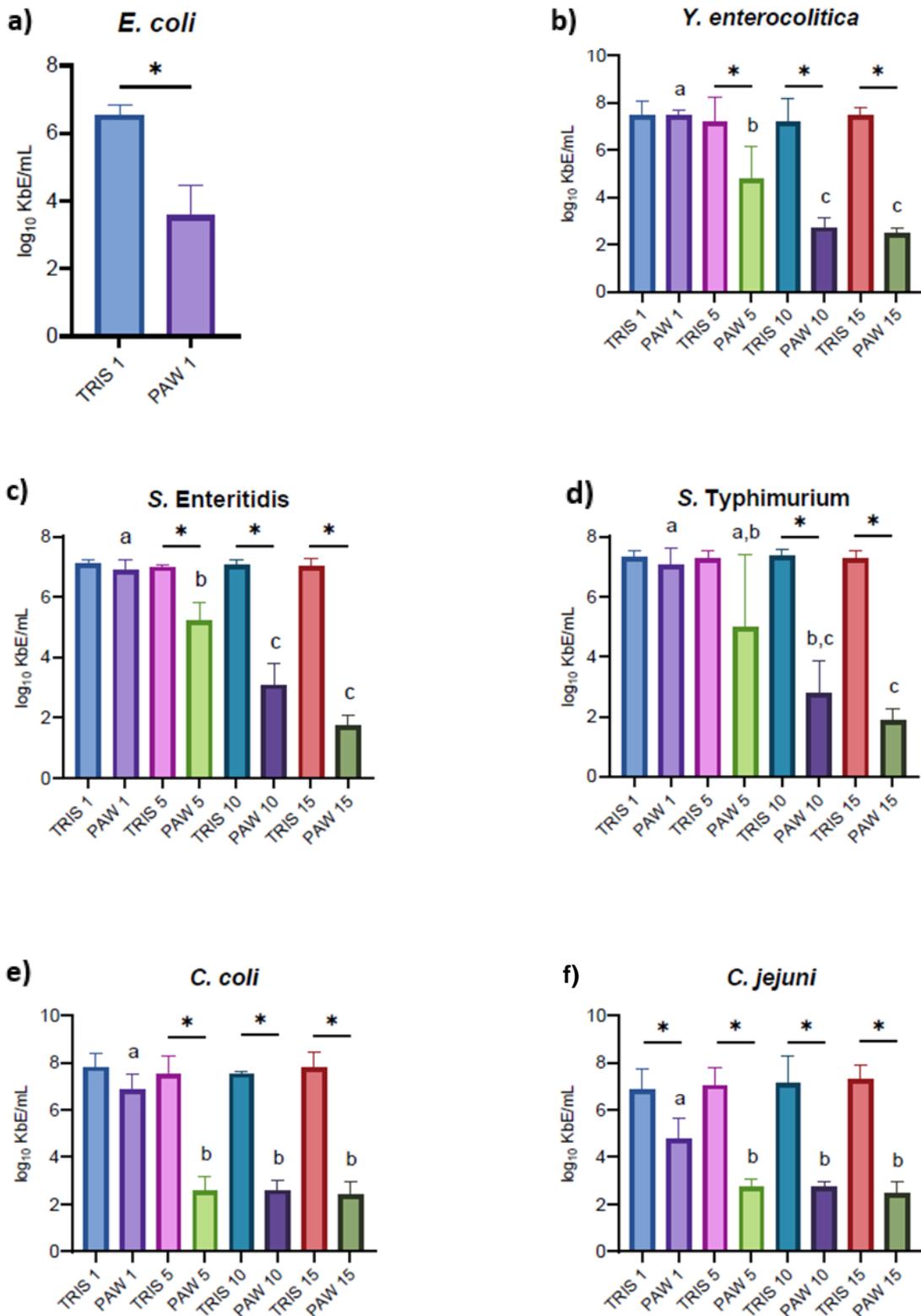


Abb. 6 a) – f): Inaktivierung von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *C. jejuni* und *C. coli* nach PAW-Behandlung. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. Signifikante Unterschiede zwischen der jeweiligen TRIS-Kontrolle und der PAW-Behandlung sind definiert als * $p \leq 0,05$. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf einen signifikanten ($p \leq 0,05$) Unterschied zwischen den verschiedenen PAW-Behandlungszeiten hin. TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; 1, 5, 10 und 15 geben die jeweilige Einwirkzeit in Minuten an.

2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“

Einzelbehandlung von UV-C

Die UV-C-Licht Versuche auf der Schweineschwarte wurden mit folgenden Keimen durchgeführt: *E. coli* (DSM 682) *Y. enterocolitica* (2874-4), *S. Typhimurium* (DSM 19587) und *S. Enteritidis* (DSM 14221).

Für die Versuche wurden von einem Schlachthof jeweils zwei Schweineschwarten tagfrisch von einem geschlachteten Tier entnommen. Diese wurden dann gekühlt zum Institut für Lebensmittelqualität und –sicherheit (LMQS) gebracht, wo das Unterhautfett der Schwarten entfernt und die Haut in 20,25 cm² (4,5 x 4,5 cm) große Stücke zerteilt und für 24 h gekühlt gelagert wurde. Am darauf folgenden Tag wurden die Hautstücke jeweils mit 100 µl (10⁸ KBE/ml) von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Typhimurium* oder *S. Enteritidis* inokuliert. 30 min vor der Behandlung wurde der UV-Schrank eingeschaltet und mittels UV-Messgerät die richtige Position/ UV-C-Stärke (mW/cm²) bestimmt. Anschließend wurden die Proben nacheinander für eine bestimmte Zeit-Intensität-Kombination unter das UV-Licht gelegt. Die sich daraus ergebende UV-Dosis (mJ/cm²) ist das Produkt aus der UV-Intensität (mW/cm²) und der Zeit in Sekunden. Die Keimzahl wurde mittels Tupfverfahren und anschließender Verdünnungsreihe untersucht. Um eine effektive UV-Dosis zu ermitteln wurden verschiedene Zeit-Intensität-Kombination untersucht, da sich mittels UV-Behandlung eine hohe Reduktionswirkung erzielen lassen konnte und wie oben bereits dargelegt für eine vorgesehene Kombinationsbehandlung keine zu starke Reduktion der Mikroorganismen durch ein Verfahren erreicht werden soll. Folglich wurden mehrere Untersuchungsreihen mit geringeren UV-C-Dosen durchgeführt.

Im Folgenden sind die ermittelten Zeit-Intensität-Kombinationen sowie die dazugehörigen UV-Dosen und eine Abbildung über die Reduktion der Keimzahl am Beispiel von *E. coli* dargestellt:

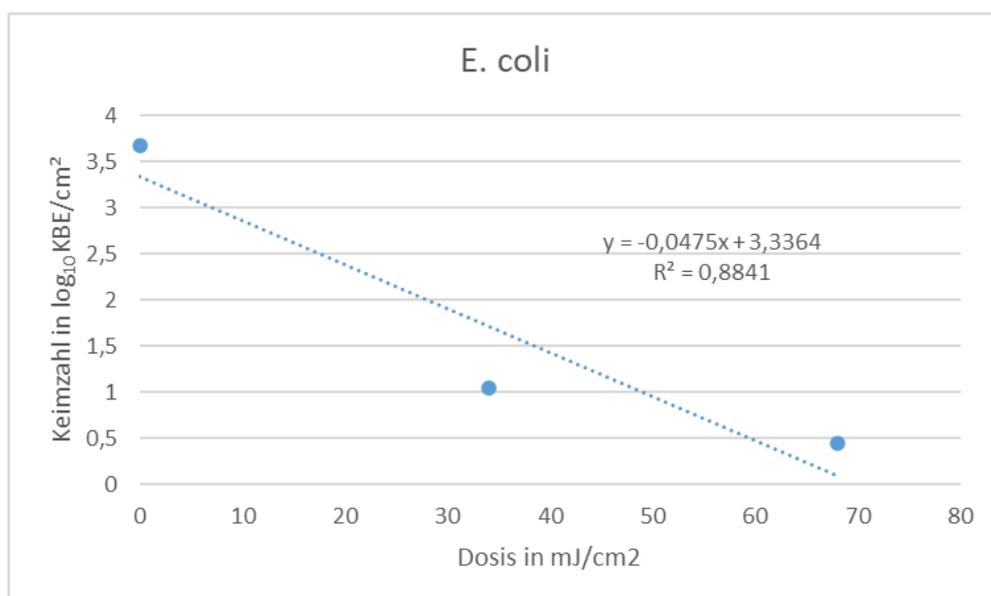


Abb. 7: Keimreduktion von *E. coli* bei Anwendung von verschiedenen UV-C-Dosen auf Schweineschwarte.

Verwendete UV-C-Dosen:

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 180 \text{ sec} = 1224 \text{ mJ/cm}^2$$

$$0,7 \text{ mW/cm}^2 \times 15 \text{ sec} = 10,5 \text{ mJ/cm}^2$$

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 60 \text{ sec} = 408 \text{ mJ/cm}^2$$

$$0,7 \text{ mW/cm}^2 \times 10 \text{ sec} = 7,0 \text{ mJ/cm}^2$$

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 30 \text{ sec} = 204 \text{ mJ/cm}^2$$

$$0,7 \text{ mW/cm}^2 \times 5 \text{ sec} = 3,5 \text{ mJ/cm}^2$$

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 15 \text{ sec} = 102 \text{ mJ/cm}^2$$

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 10 \text{ sec} = 68 \text{ mJ/cm}^2$$

$$4,6 \text{ mW/cm}^2 \times 10 \text{ sec} = 46 \text{ mJ/cm}^2$$

$$6,8 \text{ mW/cm}^2 \times 5 \text{ sec} = 34 \text{ mJ/cm}^2$$

$$4,6 \text{ mW/cm}^2 \times 5 \text{ sec} = 23 \text{ mJ/cm}^2$$

Bei den UV-Versuchen wurde sich zuvor auf eine gewünschte Reduktion von max. 2 log₁₀-Stufen durch die Behandlung gegenüber der Kontrollprobe festgelegt, da der Fokus des Projektes eine Kombinationsbehandlung mit den anderen Behandlungsverfahren anstrebt. Die Ergebnisse zeigen, dass dies bei der Schweineschwarte bei einer Dosis von 3,5 mJ/cm² (0,7 mW/cm² x 5 sec) gegeben ist und somit wird diese für die Kombinationsbehandlungen eingesetzt werden.

Die Versuche auf der Hähnchenhaut wurden wie folgt durchgeführt: 24 h vor Versuchsbeginn wurden Hähnchenschenkel vom OG-Partner 4 an die TiHo geliefert und dort im Kühlschrank bis zum Folgetag aufbewahrt. Am Versuchstag wurde ein definiertes Areal auf der Haut jeweils mit 100 µl (10⁸ KbE/ml) von *E. coli*, *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *C. jejuni* oder *C. coli* inokuliert. 30 min vor der Behandlung wurde der UV-Schrank eingeschaltet und mittels UV-Messgerät die richtige Position/ UV-C-Stärke (mW/cm²) bestimmt. Anschließend wurden die Proben nacheinander für eine festgelegte Zeit-Intensität-Kombination der UV-C-Strahlung ausgesetzt. Die sich daraus ergebende UV-Dosis (mJ/cm²) ist das Produkt aus der UV-Intensität (mW/cm²) und der Zeit in Sekunden.

Zur Bestimmung der Keimzahl wurde die Haut abpräpariert und in einem Homogenisierbeutel eingewogen. Die Probe wurde mit NaCl-Pepton 1:10 verdünnt und anschließend eine Verdünnungsreihe durchgeführt.

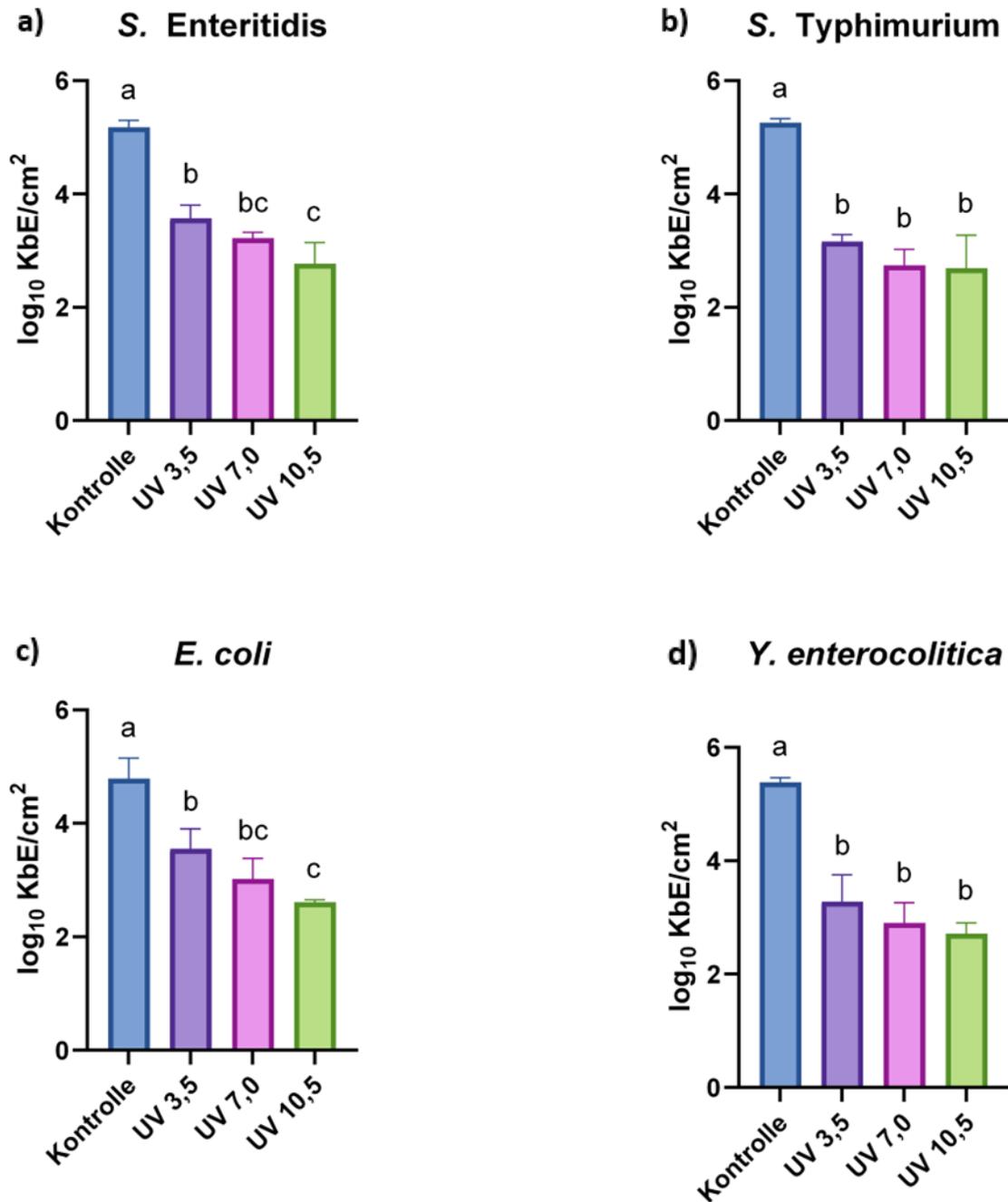
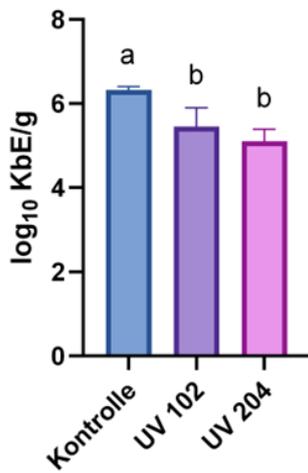
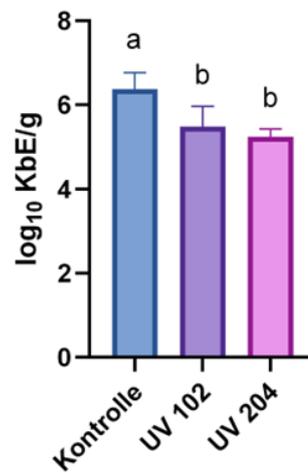


Abb. 8 a) - d): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Schweineschwarte. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (3,5; 7,0 und 10,5) in mJ/cm²; N=3

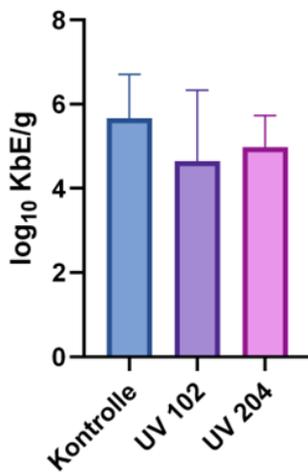
a) *S. Enteritidis*



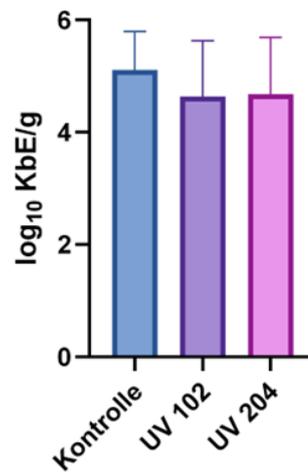
b) *S. Typhimurium*



c) *C. jejuni*



d) *C. coli*



e) *E. coli*

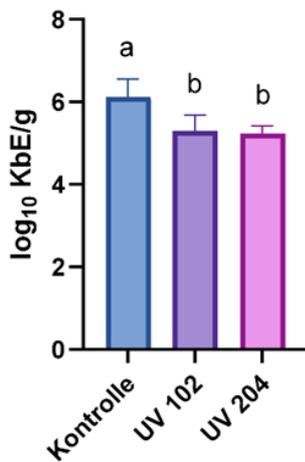


Abb. 9 a) - e): Keimreduktion von a) *S. Enteritidis*, b) *S. Typhimurium*, c) *C. jejuni*, d) *C. coli* und e) *E. coli* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Hähnchenhaut. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligeren Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (102 und 204) in mJ/cm^2

Bei der Geflügelhaut führte die Behandlung gegenüber der Schweineschwarte zu weniger starken Reduktionen (bis ca. 1,0 – 1,5 log₁₀) der Keimgehalte. Es wird jedoch eingeschätzt, dass hier immer noch eine ausreichende Reduktion erreicht wird, um für die kombinierte Anwendung geeignet zu sein. Ursächlich ist dies vermutlich auf die komplexere Matrix der Geflügelhaut und eine insgesamt weniger glatt erscheinende Oberfläche zurückgeführt, weshalb eine Bestrahlung der Oberfläche vergleichsweise erschwert wird. Aufgrund der Praktikabilität am Schlachthof (möglichst kurze Behandlungszeiten) wurde maximal eine Dosis von 204 mJ/cm² (6,8 mW/cm² x 30 sec) eingesetzt. Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen einer Anwendung von 30 sec und 15 sec gegeben ist. Daher wird die Dosis von 204 mJ/cm² (6,8 mW/cm² x 30 sec) für die Kombinationsbehandlungen ausgewählt.

Die UV-C-Licht Versuche auf der Putenhaut (Oberkeule) wurden wie folgt durchgeführt: 24 h vor Versuchsbeginn wurden Putenoberkeulen vom OG-Partner 4 an die TiHo geliefert und dort im Kühlschrank bis zum Folgetag aufbewahrt. Am Versuchstag wurde ein definiertes Areal auf der Haut jeweils mit 100 µl (10⁸ KbE/ml) von *E. coli*, *S. Typhimurium* oder *C. jejuni* inokuliert. 30 min vor der Behandlung wurde der UV-Schrank eingeschaltet und mittels UV-Messgerät und der UV-C-Stärke (mW/cm²) die richtige Position der Proben unter der UV-C-Quelle bestimmt. Anschließend wurden die Proben nacheinander für eine festgelegte Zeit-Intensität-Kombination der UV-C-Strahlung ausgesetzt. Als UV-Dosis wurde auch hier vergleichend mit 102 mJ/cm² und 204 mJ/cm² gearbeitet. Zusätzlich stand eine unbehandelte Kontrollprobe zur Verfügung.

Zur Bestimmung der Keimzahl wurde die Haut abpräpariert und in einem Homogenisierbeutel eingewogen. Die Probe wurde mit NaCl-Pepton 1:10 verdünnt und im Anschluss daran wurde eine Verdünnungsreihe durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 10 dargestellt. Bei *E. coli* und *S. Typhimurium* konnten erfolgreiche Reduktionen erzielt werden. Da auch hier zwischen den UV-C-Dosen von 102 und 204 mJ/cm² kein signifikanter Unterschied zu erkennen ist, wird ebenfalls mit der höheren Dosis von 204 mJ/cm² in die Kombinationsbehandlungen gegangen.

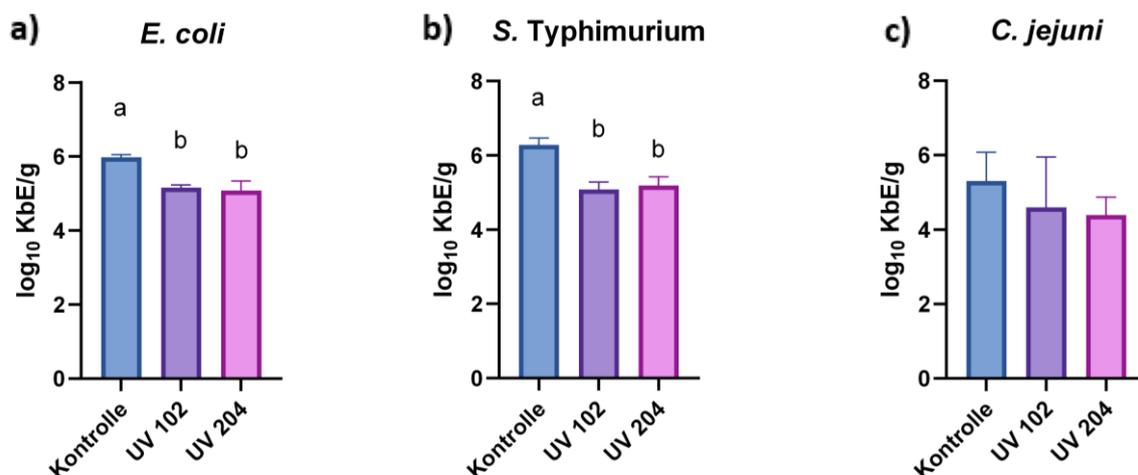


Abb. 10 a) - c): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium* und c) *C. jejuni* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Putenhaut. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante (p ≤ 0,05) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (102 und 204) in mJ/cm²; N = 3

Einzelbehandlung von PAW

Für die PAW-Behandlung von Schwarte und Hähnchenhaut wurden, wie bereits bei den UV-C-Behandlungen, 24 h vor Versuchsbeginn die jeweiligen Teilstücke (Schwarte & Hähnchenschenkel mit Haut) von den OG-Partnern 3 & 4 an die TiHo geliefert bzw. diese von dort abgeholt und im Kühlschrank bis zum Versuchstag aufbewahrt. Das PAW und der TRIS-Puffer wurden am Versuchstag frisch von dem OG-Partner 2 hergestellt und geliefert. Zu Beginn der Untersuchungen wurde ein definiertes Areal auf der Haut jeweils mit 100 µl (10^8 KbE/ml) der verwendeten Keime inokuliert. Es folgte die Einstellung des pH-Wertes des TRIS-Puffers auf den des PAWs, um einen reinen pH-Effekt des Wassers auszuschließen. Mittels einer von der HAWK entwickelten Sprühvorrichtung konnten die inokulierten Proben mit 1 ml Plasma bzw. TRIS-Puffer besprüht werden. Nach einer Einwirkzeit von 5 min (N = 1) und 10 min (N = 3) wurden die Keime mittels Tupfverfahren bzw. mittels homogenisieren wieder von den Teilstücken rückgewonnen und die Reduktion ermittelt. Um zu kontrollieren, ob das Sprühen zu einem Abspülen der Keime führt, wurden Proben ohne Behandlung mitgeführt. Da bei den beiden Einwirkzeiten nach einem Durchgang kein Unterschied festgestellt werden konnte, werden hier nur die Ergebnisse der 10-minütigen Behandlung dargestellt. In Abb. 11 sind die Ergebnisse auf der Schwarte dargestellt und in Abb. 12 die auf der Hähnchenhaut. Bei der Hähnchenhaut war zu erwarten, dass aufgrund der komplexeren Matrix seltener mit einer signifikanten Reduktion zu rechnen war- insbesondere im Gegensatz zur sehr homogen und ebenmäßig erscheinenden Schwarte. Tatsächlich konnten keine signifikanten Reduktionen erzielt werden. Bei *Y. enterocolitica* und *E. coli* sind allerdings durchaus Tendenzen erkennbar und es ist möglich, dass aufgrund der Höhe der Standardabweichung statistisch keine Signifikanz berechnet werden konnte. Eine deutliche Vergrößerung der Stichprobe könnte hier weitere Aussagen ermöglichen. Im Hinblick auf die kombinierte Anwendung von UV-C und PAW muss abgewartet werden, ob in diesen Fällen eine signifikante Reduktion erreicht werden kann und der Hürdeneffekt greift.

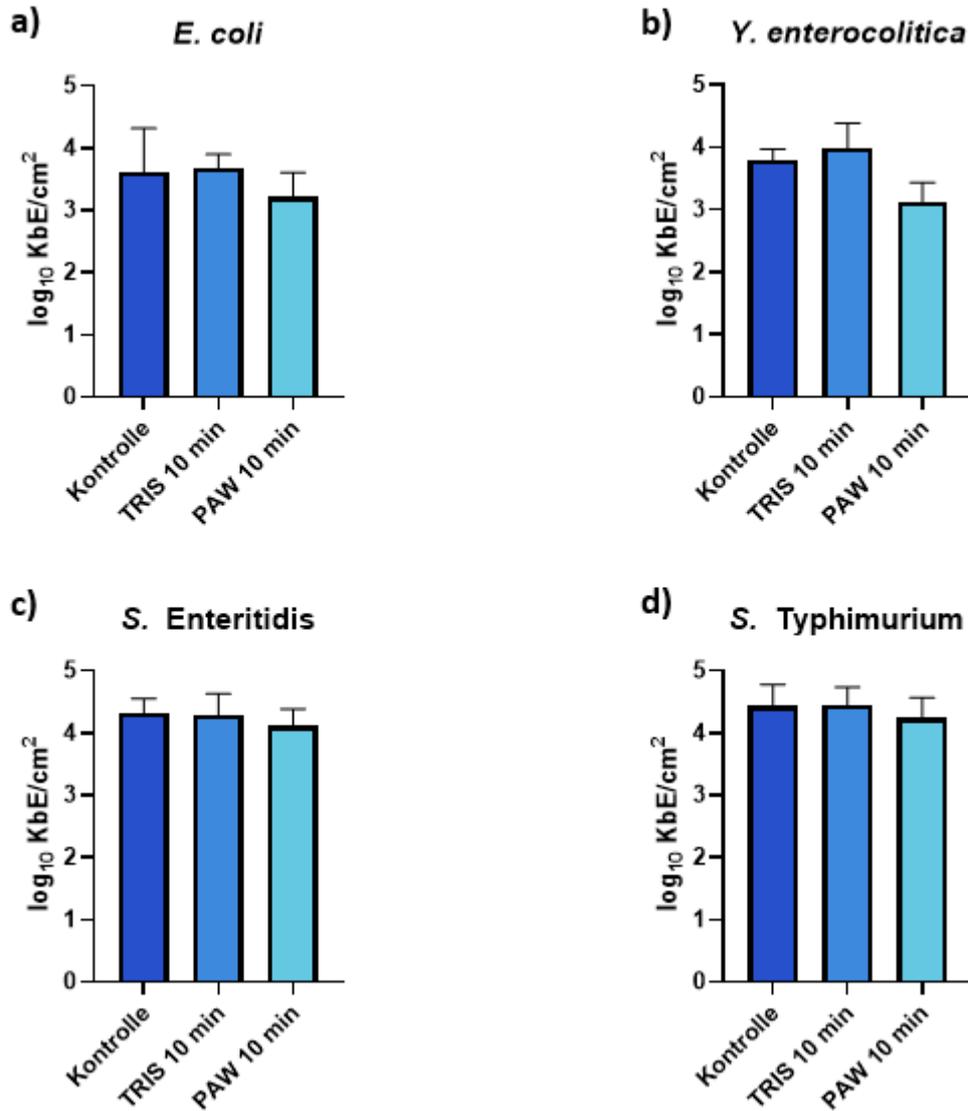


Abb. 11 a) - d): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Schweineschwarte. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

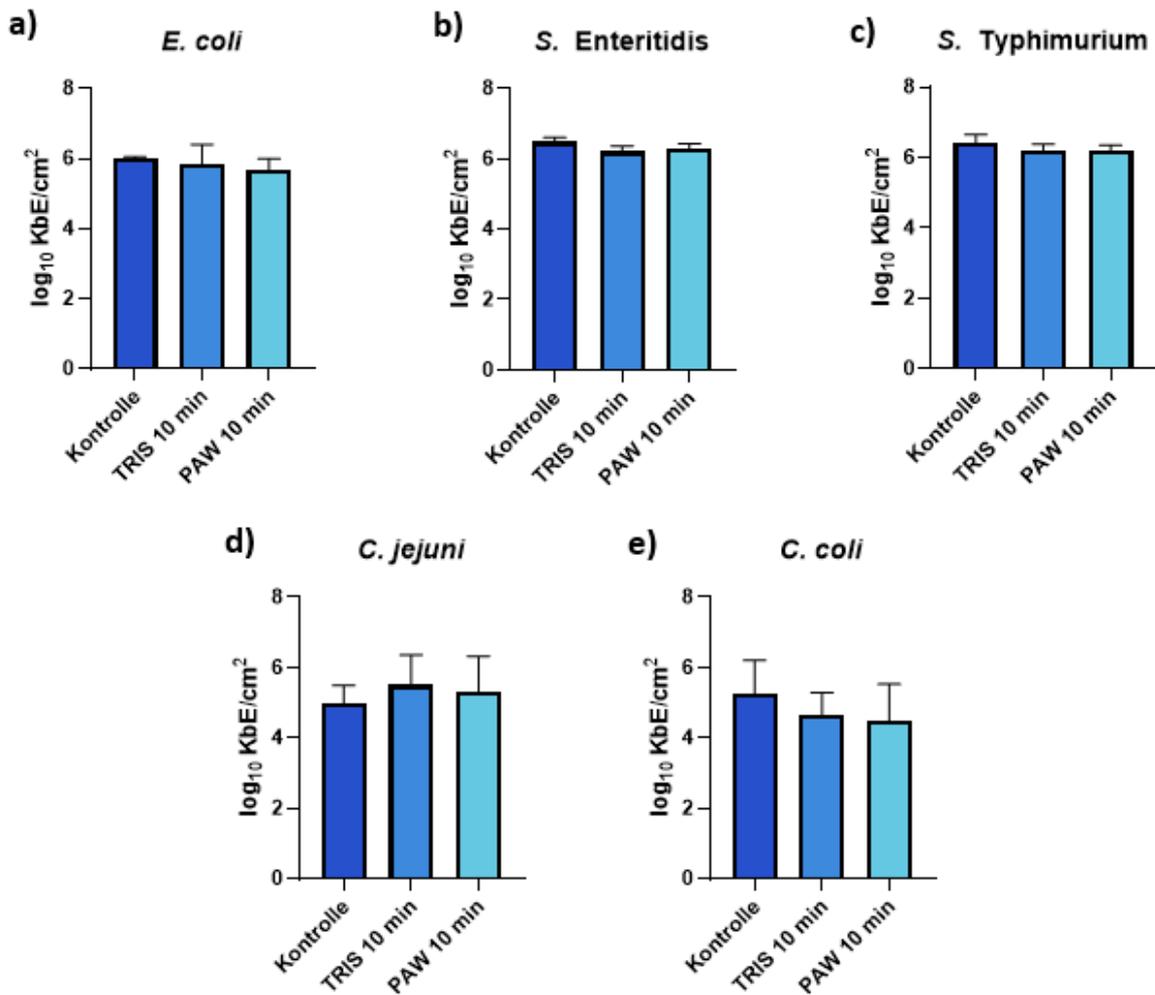


Abb. 12 a) - e): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Hähnchenhaut. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

Funktionsmodell mit Förderband für die Kombinationsbehandlung mittels UV-C und PAW

Am 22. Mai 2024 wurde das in der Abbildung 13 dargestellte Funktionsmodell mit Förderband für die Kombinationsbehandlung mittels UV-C und PAW der TiHo von der HAWK zur Verfügung gestellt. Frau Bernhardt und Frau Große-Peclum wurden von Herrn Ochs und Herrn Avramidis in die Nutzung des Gerätes eingewiesen. Informationen zum Gerät befinden sich unter 2.4.3.6 Arbeitspaket B3 „Konstruktion & Fertigung einer Applikationskammer (Funktionsmuster)“

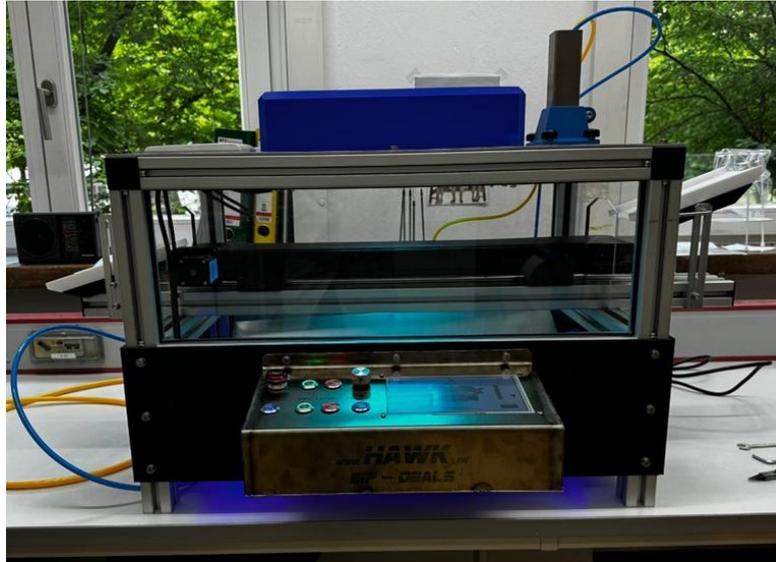


Abb. 13 Funktionsmodell mit Förderband für die Kombinationsbehandlung mittels UV-C und PAW. Eingang auf dem Foto links, Transport über ein Förderband unterhalb der verbauten UV-C-Lampen und Sprühbehandlung im rechten Bildbereich innerhalb des Schutzkastens auf Höhe des verbauten Sprühkopfes (blauer Sockel mit dunkler Sprühapparatur und zuleitenden Schläuchen), Ausgang der Probe rechts. Bedienung über das Modul und dem farbigen Touch-Display im vorderen Bereich mit Einstelloptionen für die UV-C-Lampen, die Belüftung und die Sprühbehandlung.

Kombinationsbehandlung von UV-C und PAW auf Schwarte und Hähnchenhaut

Für die kombinierte Behandlung von Schwarte und Hähnchenhaut wurden die Proben, wie bereits bei den Einzelversuchen beschrieben, 24 h vor Versuchsbeginn von den OG-Partnern 3 & 4 an die TiHo geliefert bzw. diese von dort abgeholt und im Kühlschrank bis zum Versuchstag aufbewahrt. Das benötigte PAW und der TRIS-Puffer wurden wieder frisch von dem OG-Partner 2 hergestellt und geliefert. Die weitere Probenvorbereitung erfolgte wie unter 2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachtierkörpern von Schwein und Geflügel“ (Einzelbehandlung von UV-C) beschrieben. *C. coli* wurde aus den Kombinationsbehandlungen ausgeschlossen, da sich die Arbeit und die Auswertung (Keimzahlbestimmung) mit diesen in den Einzelbehandlungen als zu ungenau herausgestellt hat. Mittels des von der HAWK entwickelten Funktionsmodells mit Förderband konnten die inokulierten Proben zunächst mit der in den Einzelbehandlungen ermittelten effektivsten UV-C-Dosis von 3,5 mJ/cm² (Schwarte) und 204 mJ/cm² (Hähnchenhaut) bestrahlt werden. Im Anschluss erfolgte dann die Sprühbehandlung mit 1 ml PAW bzw. TRIS-Puffer. Nach einer Einwirkzeit von 10 min wurden die Keime mittels Tupfverfahren wieder von den Teilstücken rückgewonnen und die Reduktion ermittelt. Um zu kontrollieren, ob das Sprühen zu einem Abspülen der Keime führt, wurden Proben ohne Behandlung mitgeführt.

Bei den Ergebnissen (Abb. 14 und 15) sind sowohl die unbehandelte Kontrollprobe, als auch die Ergebnisse der Einzelbehandlung mit UV-C vergleichend zur kombinierten Behandlung dargestellt. Bei der Schwarte ist zu erkennen, dass im Grunde alle Behandlungsverfahren sig. Reduktionen im Vergleich zu der Kontrollgruppe erreichen konnten. Es wurden jedoch keine sig. Unterschiede zwischen der Einzelbehandlung mit UV-C und der kombinierten Behandlung

festgestellt. Bei *Y. enterocolitica* kam es zudem zu sig. höheren Reduktionen bei der Einzelbehandlung. Bei der Hähnchenhaut kam es zu ähnlichen Ergebnissen, wie bei der Schwarte. Es konnten bei *E. coli*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* sig. Reduktionen zur Kontrollgruppe erzielt werden, allerdings nicht zwischen den drei Behandlungsverfahren. Bei *C. jejuni* wurden keine sig. Reduktionen zwischen den Gruppen festgestellt.

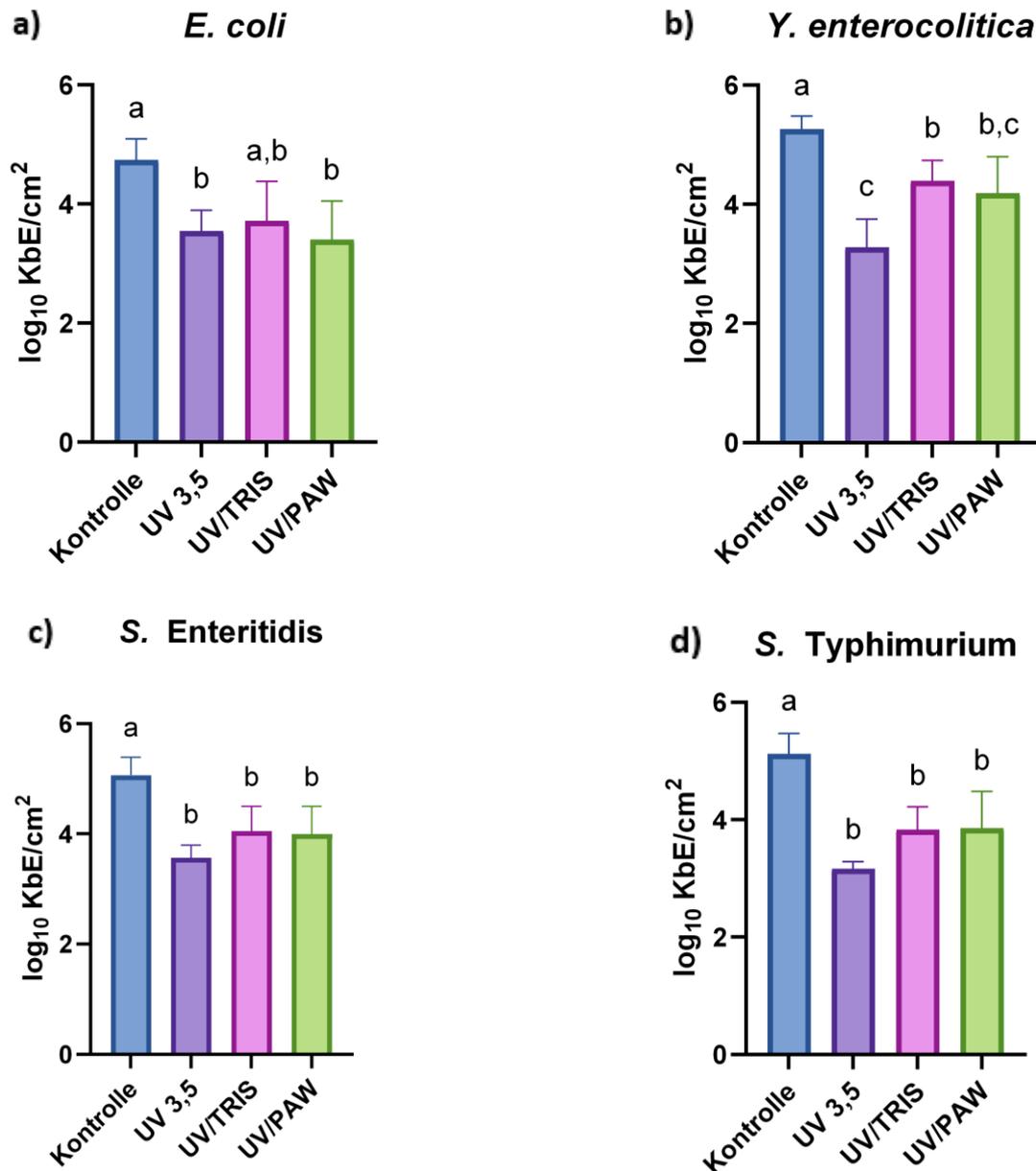


Abb. 14 Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* bei kombinierter Anwendung von UV-C (3,5 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Schwarte. Vergleichend sind die Daten der UV-C-Einzelbehandlung dargestellt. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

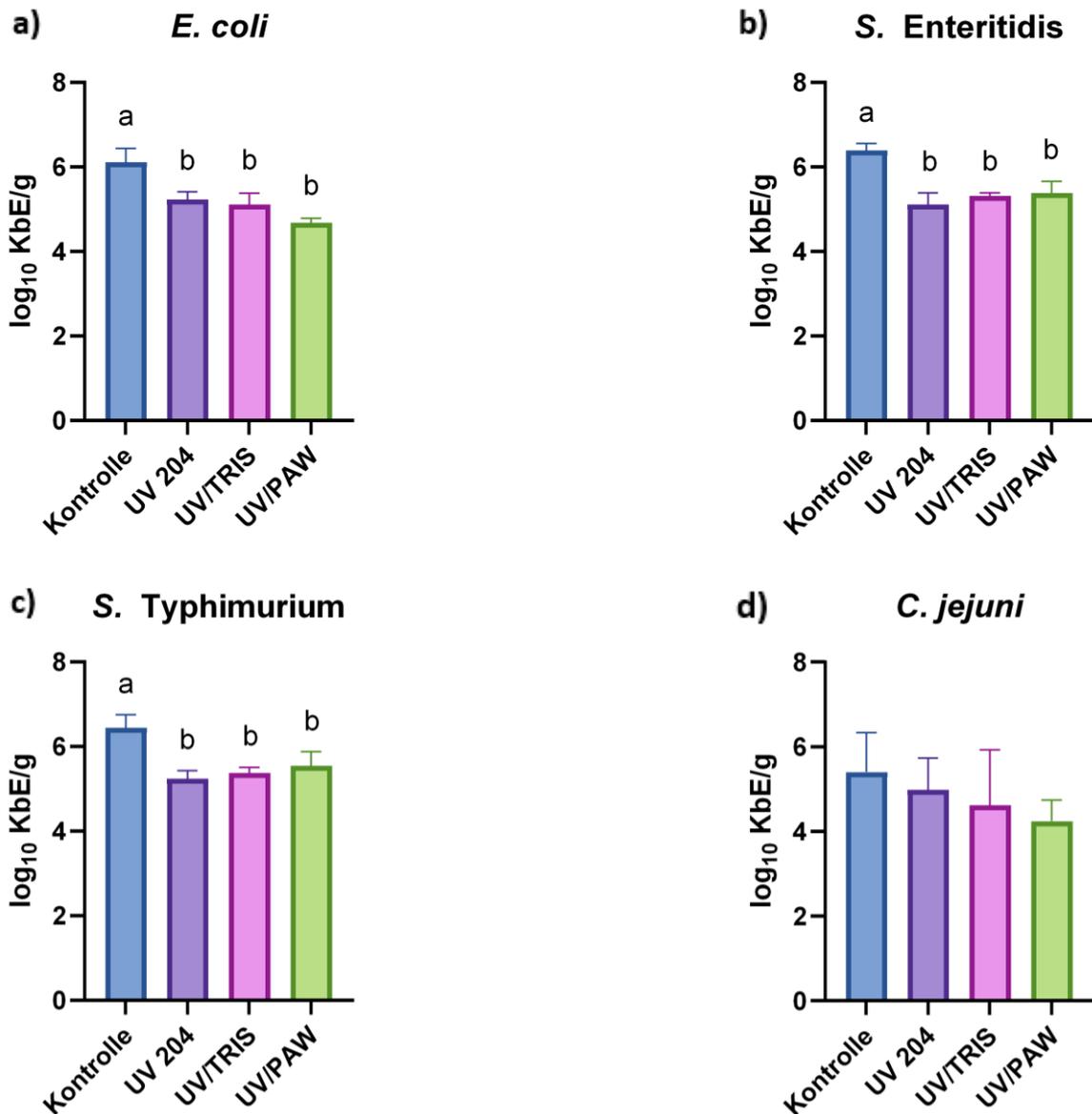


Abb. 15 a) - d): Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* und *C. jejuni* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Hähnchenhaut. Vergleichend sind die Daten der UV-C-Einzelbehandlung dargestellt. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“

Einzelbehandlung von UV-C

Für den grundlegenden Versuchsablauf der UV-C-Behandlung von Schweinelachs, Hähnchenfleisch und Putenfleisch kann sich an der Versuchsbeschreibung der Hautversuche

orientiert werden. Diese liefen vom Ablauf identisch ab, nur wurden die Teilstücke ausgetauscht und auch beim Schweinelachs eine Dosis von 102 und 204 mJ/cm² angewendet, da die Matrix Fleisch im Gegensatz zur Schwarte, aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit, eine Reduktion erschwert. Es konnten bei jedem Teilstück Reduktionen erzielt werden. Da zum Teil bei einigen Proben kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollprobe (nur inokuliert; nicht behandelt) und einer Dosis von 102 mJ/cm² festgestellt werden konnte (s. *E. coli* & *S. Typhimurium* beim Hähnchenfleisch), wurde für die Kombinationsbehandlungen bei allen Teilstücken mit der höheren Dosis von 204 mJ/cm² weitergearbeitet.

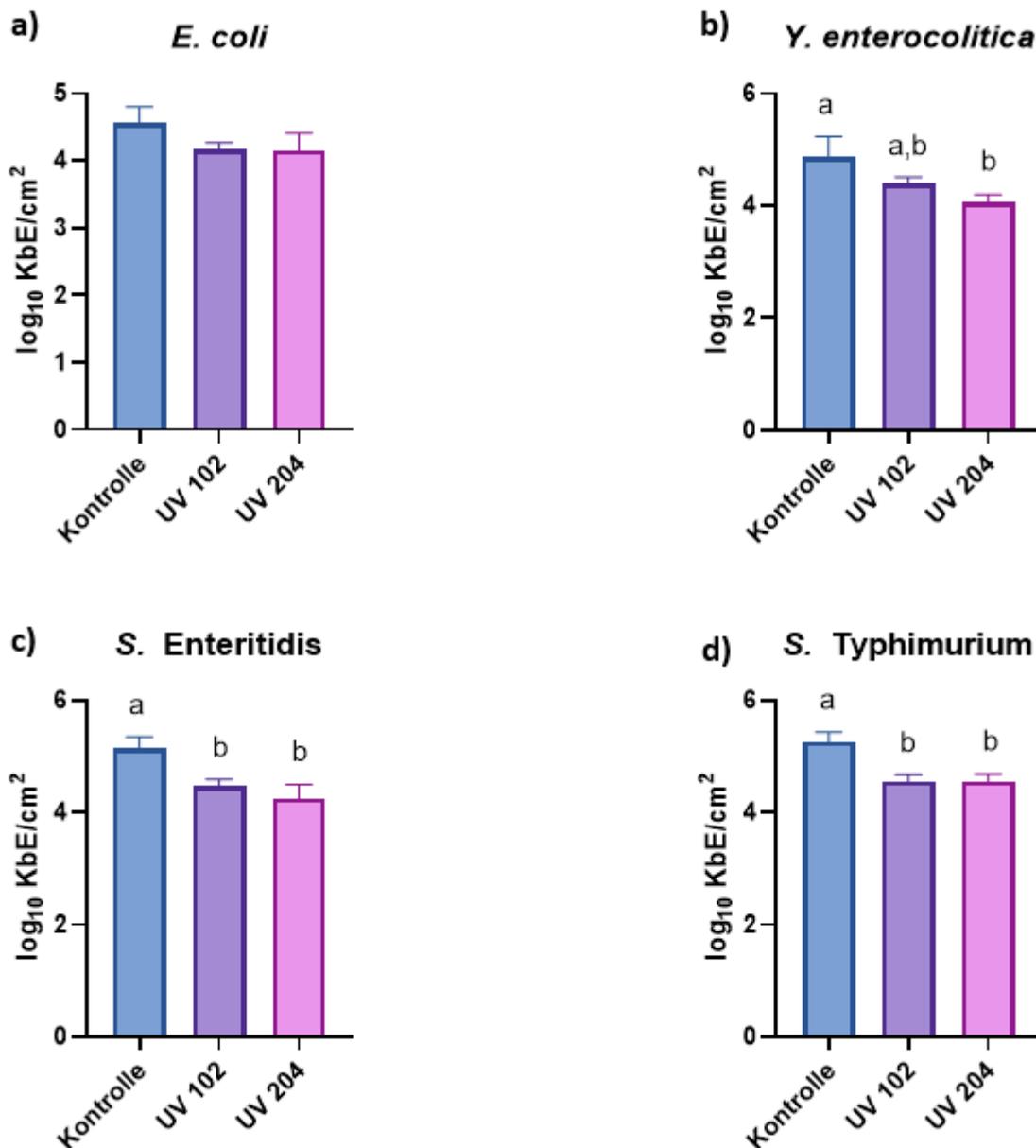


Abb. 16 a) - d): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Schweinelachs. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligeren Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (102 und 204) in mJ/cm²; N = 3

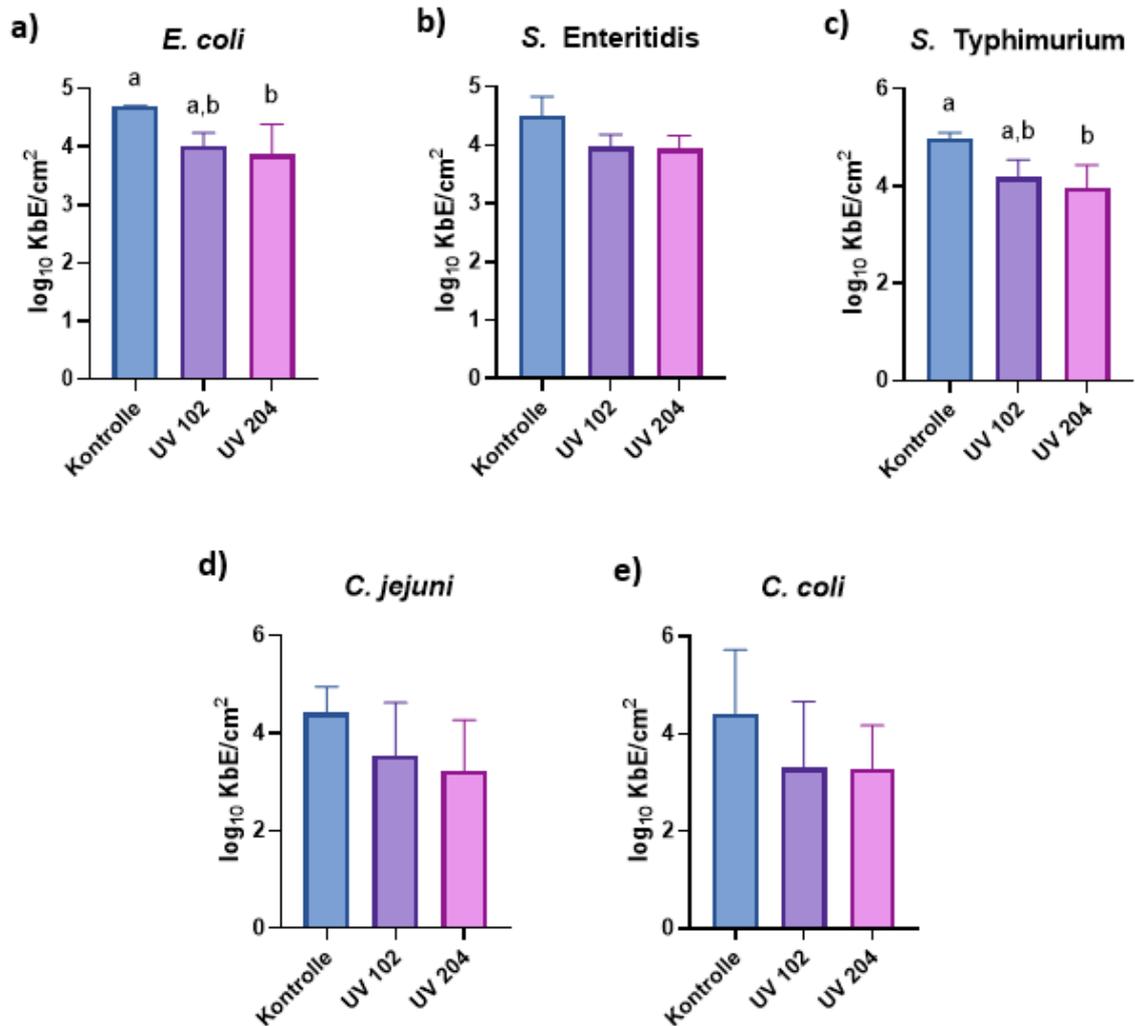


Abb. 17 a) - e): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Hähnchenfleisch. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin.

UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (102 und 204) in mJ/cm²; N = 3

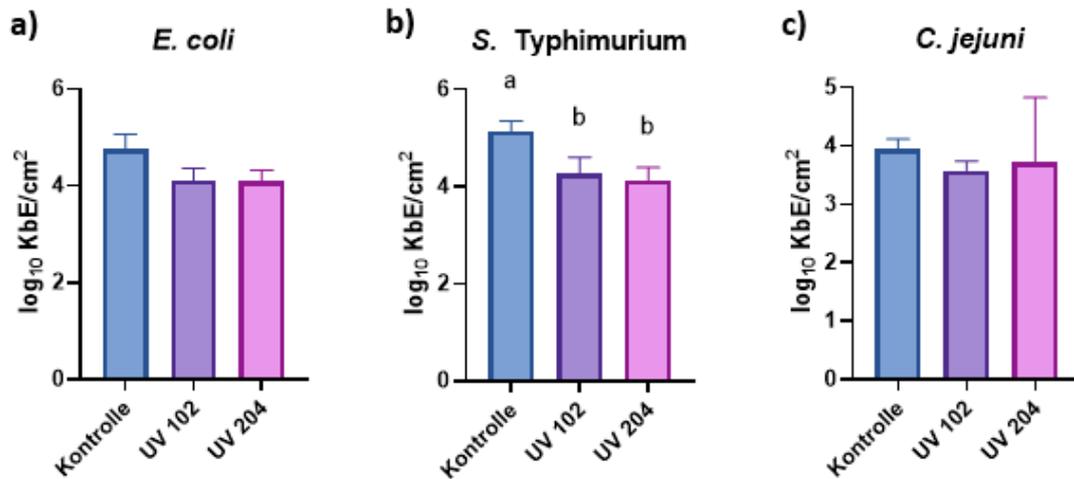


Abb. 18 a) - c): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Typhimurium* und c) *C. jejuni* bei Anwendung verschiedener UV-C-Dosen auf Putenfleisch. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), dahinter die jeweilige Dosis (102 und 204) in mJ/cm^2 ; $N = 3$

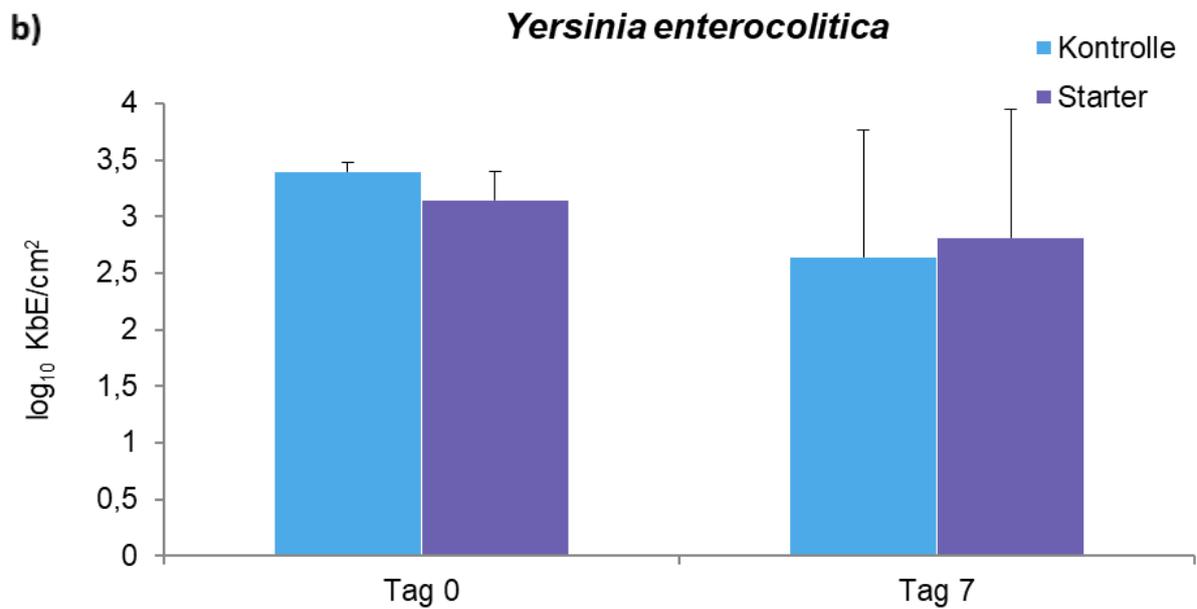
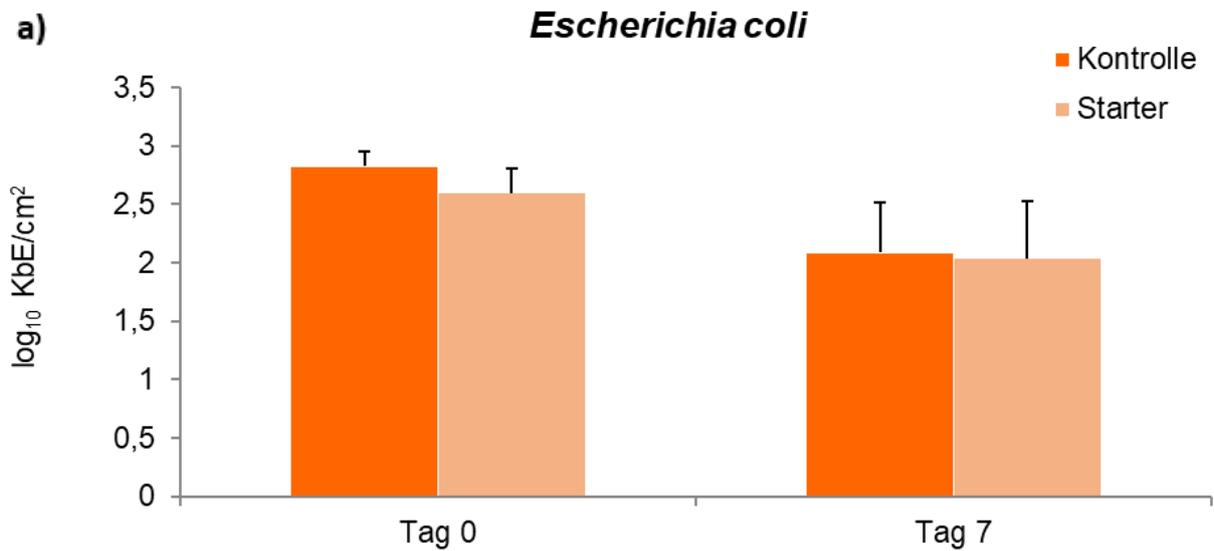
Einzelbehandlung von Starterkulturen

Bei dieser Versuchsreihe wurde für jeden Durchgang ($n = 3$) frische Rückenmuskulatur (Lachs, *M. longissimus dorsi*) vom Schwein (je linker und rechter Rücken) vom Betrieb des 3. OG Partners abgeholt. An der TiHo wurde das Fleisch in ca. 1,5 cm große Scheiben und anschließend mittels Schablone in 4,5 x 4,5 cm (20,25 cm^2) große Stücke geschnitten. Diese wurden für 24 h bei 4 °C im Kühlschrank gelagert. Am darauffolgenden Versuchstag wurden die Fleischstücke mit einem sterilen Mulltupfer von ausgetretener Flüssigkeit befreit. Zudem wurde jedes Pathogen mittels McFarland-Standards auf einen Ausgangskeimgehalt von 10^8 KbE/ml eingestellt. Das Fleisch wurde mit 100 μl (10^5 KbE/ml) eines Pathogens inokuliert und für 20 min adaptiert. Die Starterkulturen wurden im Verhältnis 1:1 gemischt (10^7 KbE/ml) und im Anschluss mit einer Konzentration von 10^6 KbE/ml (100 μl) auf das bereits inokulierte Fleisch gegeben. Als Kontrolle dienten Proben, die mit NaCl anstelle der Starterkulturen inokuliert wurden. Nach der Behandlung wurden die Proben unter Schutzgas, mit einer Zusammensetzung aus 70 % O_2 und 30 % CO_2 , in MAP verpackt (Verpackungsmaschine T100, Multivac Sepp Hagenmüller GmbH & Co.KG) und bei 4 °C im Kühlschrank gelagert. Für die mikrobielle Analyse wurden die Proben an den Versuchstagen 0 und 7 entpackt und mittels Tupferverfahren (DIN EN 10113-1) untersucht.

Für die Versuche auf Hähnchenfleisch wurde ein identisches Verfahren gewählt. Es wurden bereits in Schnitzel vorgeschchnittene Hähnchenbrüste über den OG-Partner 4 bezogen, sodass an der TiHo nur noch die 20,25 cm^2 großen Stücke herausgeschnitten werden mussten. Der weitere Ablauf ist identisch zu dem oben bereits beschriebenen Verfahren.

Es konnte bei keinem der angewandten Pathogene eine signifikante Reduktion erreicht werden, auch nicht bei einer verlängerten Lagerzeit der Proben. In Abb. 19 sind die Ergebnisse der Anwendung auf Schweinefleisch und in Abb. 20 auf Hähnchenfleisch dargestellt. Aufgrund

der hier erreichten Ergebnisse wurden die Starterkulturen nicht in die Kombinationsbehandlungen integriert, sondern diese nur mit UV-C und PAW durchgeführt.



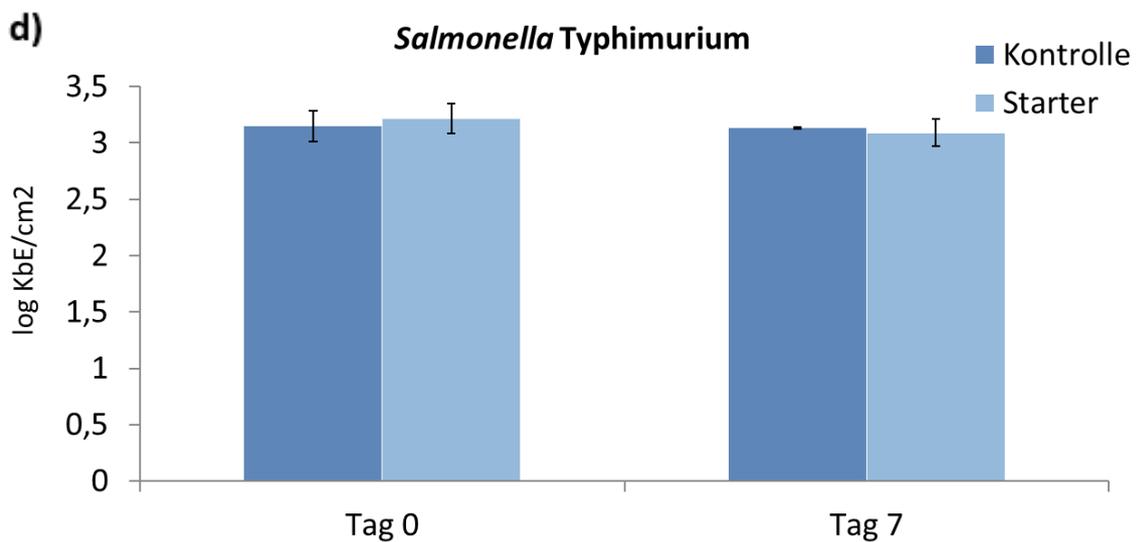
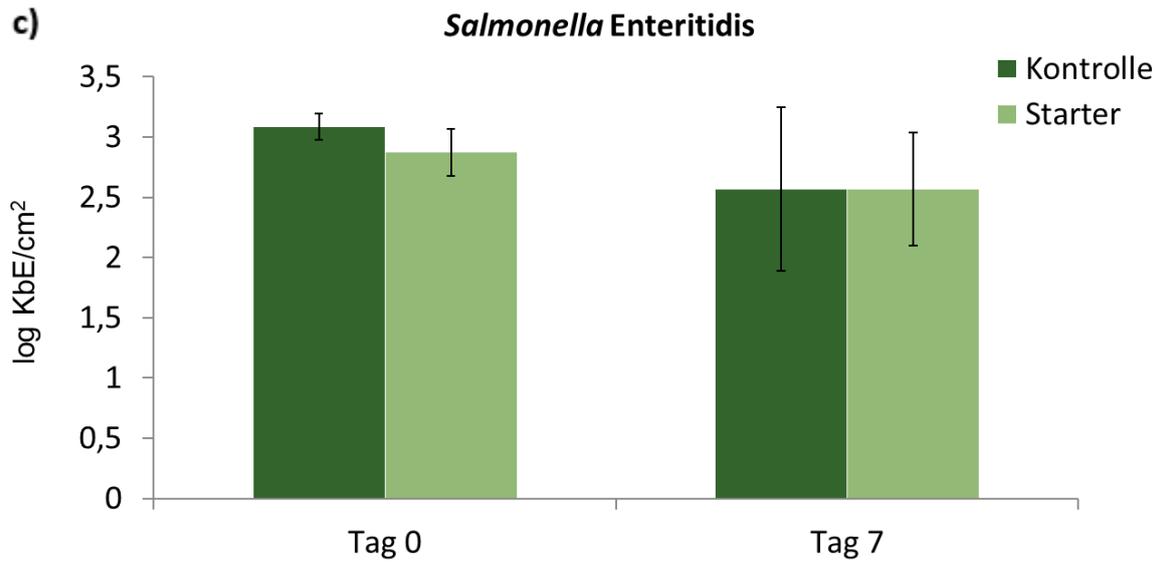
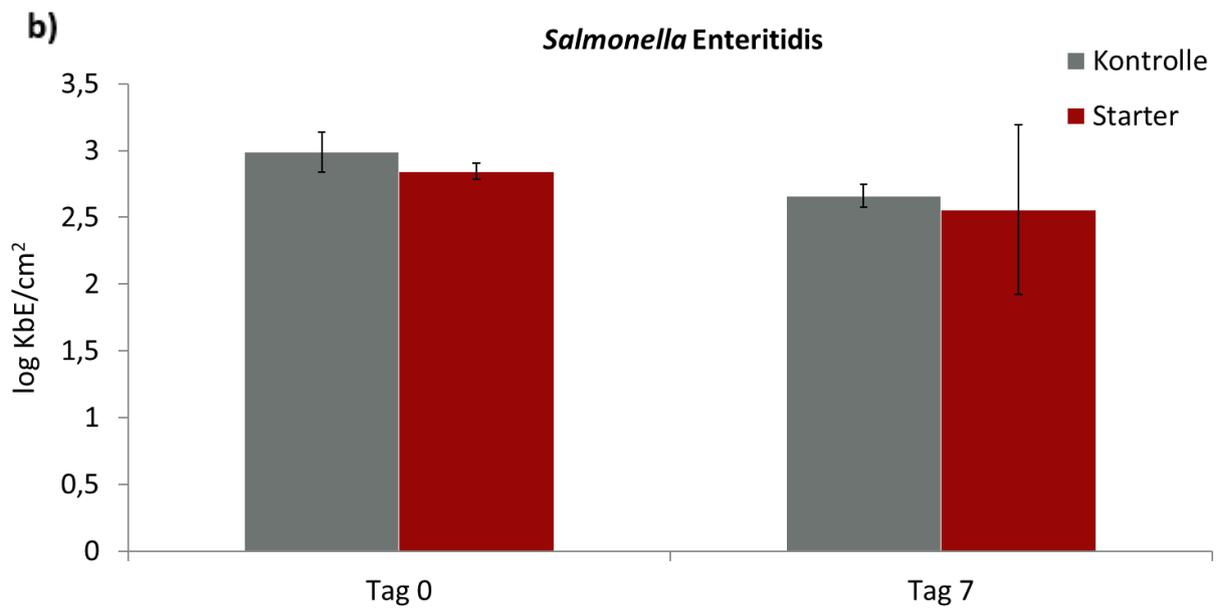
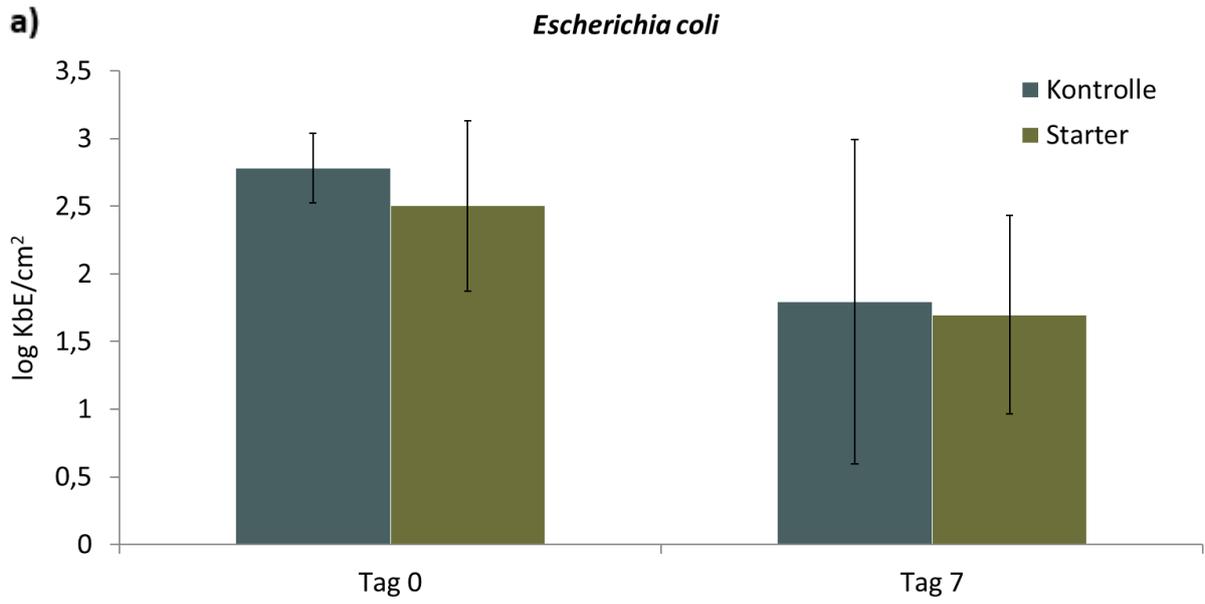
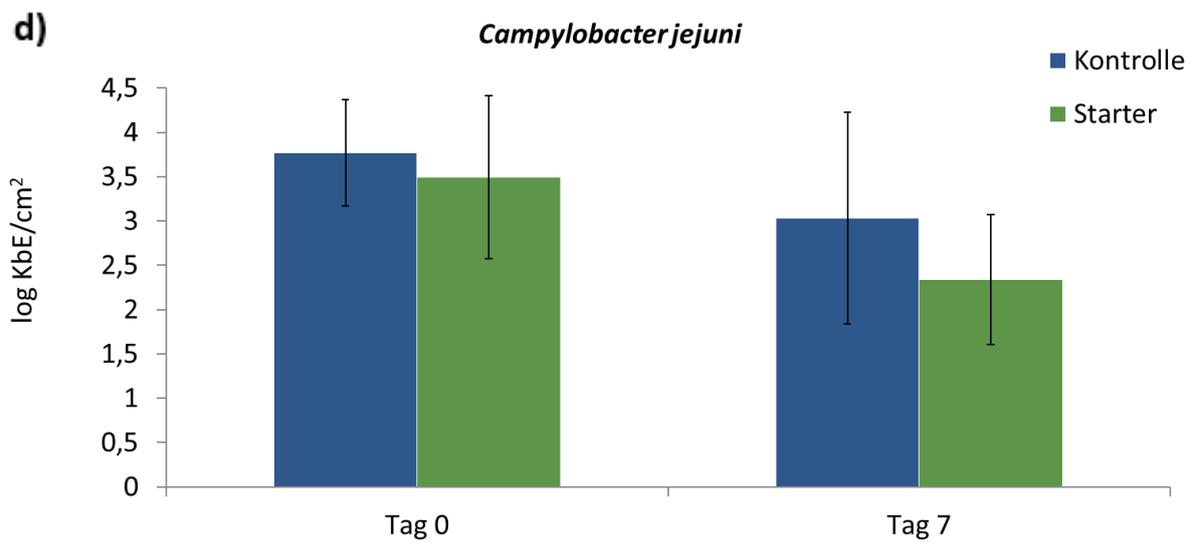
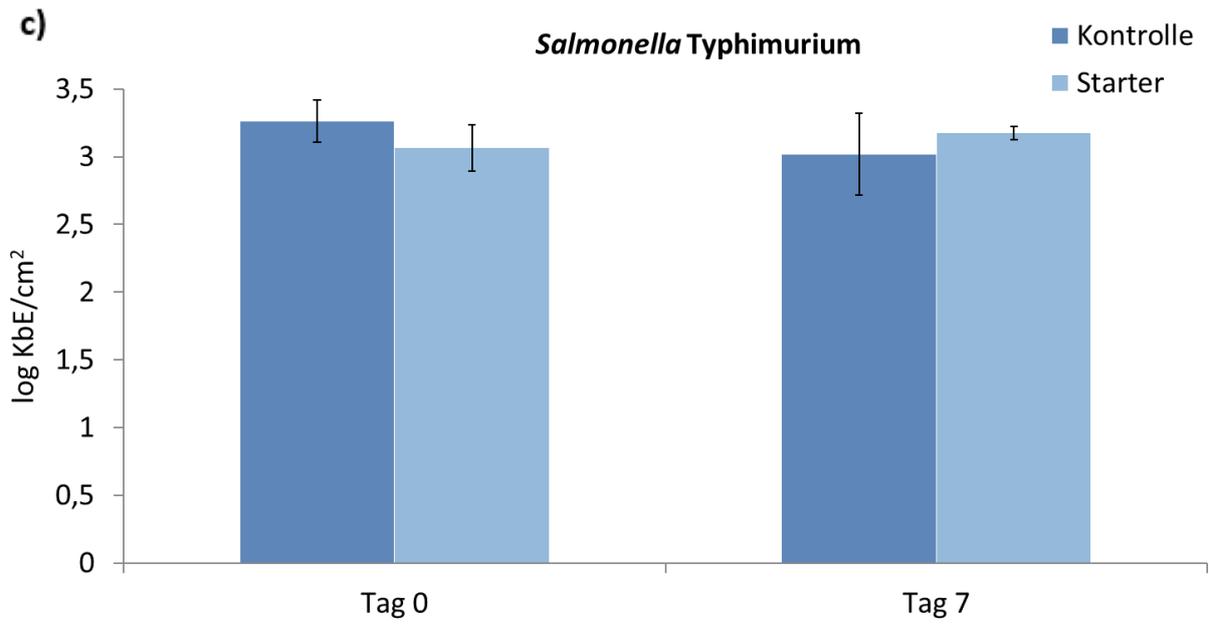


Abb. 19 a) – d): Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* auf Schweinefleisch nach Anwendung von Starterkulturen (*L. sakei* & *St. carnosus*). Das behandelte Fleisch wurde 7 Tage lang in Schutzgasverpackungen (30 % CO₂, 70 % O₂) bei 4 °C gelagert. Die Proben von Tag 0 wurden am Tag der Verpackung analysiert, die anderen entsprechend ohne Nachbehandlung an Tag 7. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. Signifikante Unterschiede sind definiert als * p≤0,05.





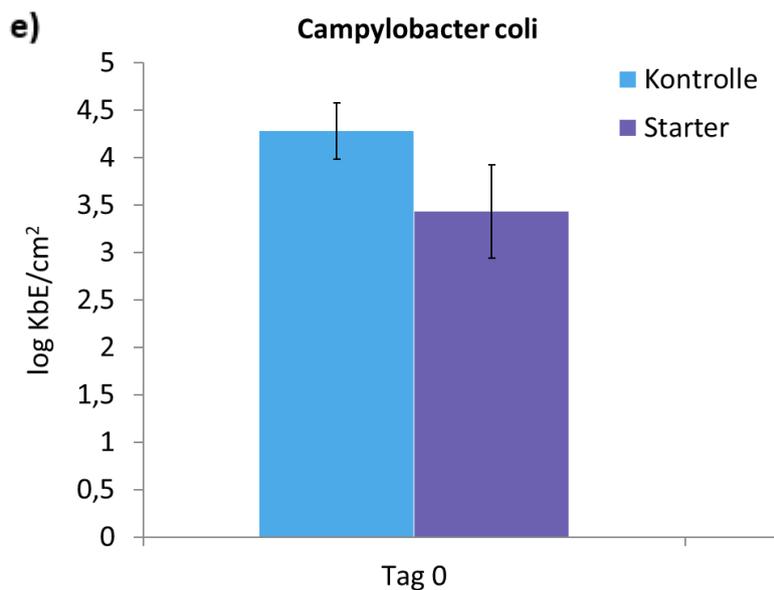


Abb. 20 a) – e): Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, *C. jejuni* und *C. coli* auf Hähnchenschnitzeln nach Anwendung von Starterkulturen (*L. sakei* & *St. carnosus*). Das behandelte Fleisch wurde 7 Tage lang in Schutzgasverpackungen (30 % CO₂, 70 % O₂) bei 4 °C gelagert. Die Proben von Tag 0 wurden am Tag der Verpackung analysiert, die anderen entsprechend ohne Nachbehandlung an Tag 7. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. Signifikante Unterschiede sind definiert als * p≤0,05.

Einzelbehandlung von PAW

Auch hier lief der Versuch identisch zu den bereits beschriebenen Hautversuch ab. Es wurde allerdings die Haut durch die Teilstücke Schweinelachs und Hähnchenfleisch (Schnitzel) ersetzt. Bei dem Schweinelachs sind auch hier wieder Tendenzen für eine signifikante Reduktion bei den Keimen *E. coli*, *Y. enterocolitica* und *S. Typhimurium* erkennbar. Beim Hähnchenfleisch zeigten sich Tendenzen bei *S. Enteritidis*. Ob diese in Kombination mit der UV-C-Behandlung zu einer verstärkten Reduktion führen bleibt abzuwarten.

Abschließend lässt sich sagen, dass durch die UV-C-Behandlung aktuell die besten Reduktionen erzielt werden konnten. Bei einer Kombinationsbehandlung mit einer UV-C-Behandlung als erstem Verfahren und einer anschließenden PAW-Behandlung könnte sich aufgrund der bereits reduzierten Keimzahl eine verbesserte Wirksamkeit des PAWs zeigen und die restlichen auf der Haut/ dem Fleisch verbliebenen Keime weiter reduziert werden.

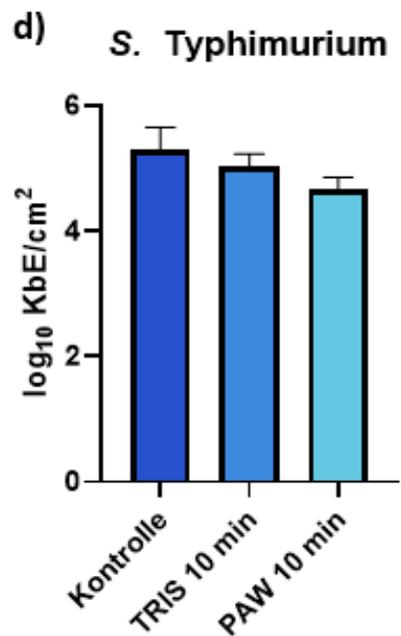
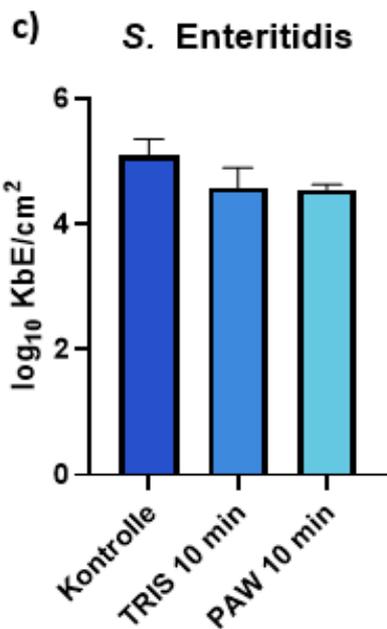
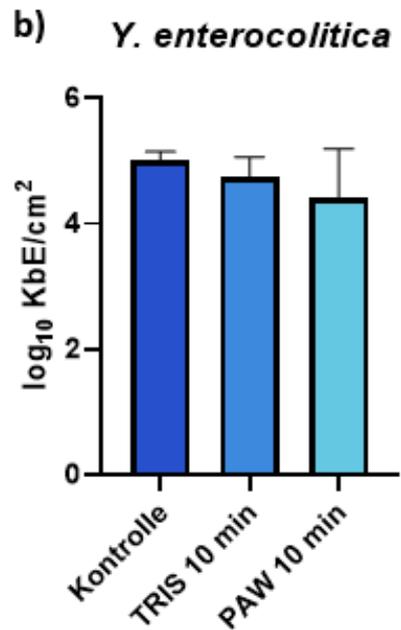
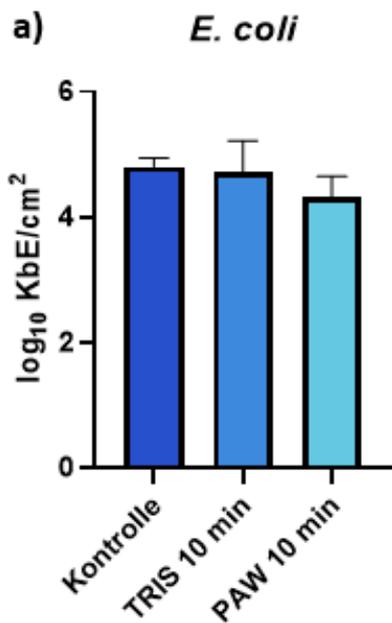


Abb. 21 a) - d): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *Y. enterocolitica*, c) *S. Enteritidis* und d) *S. Typhimurium* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Schweinelachs. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

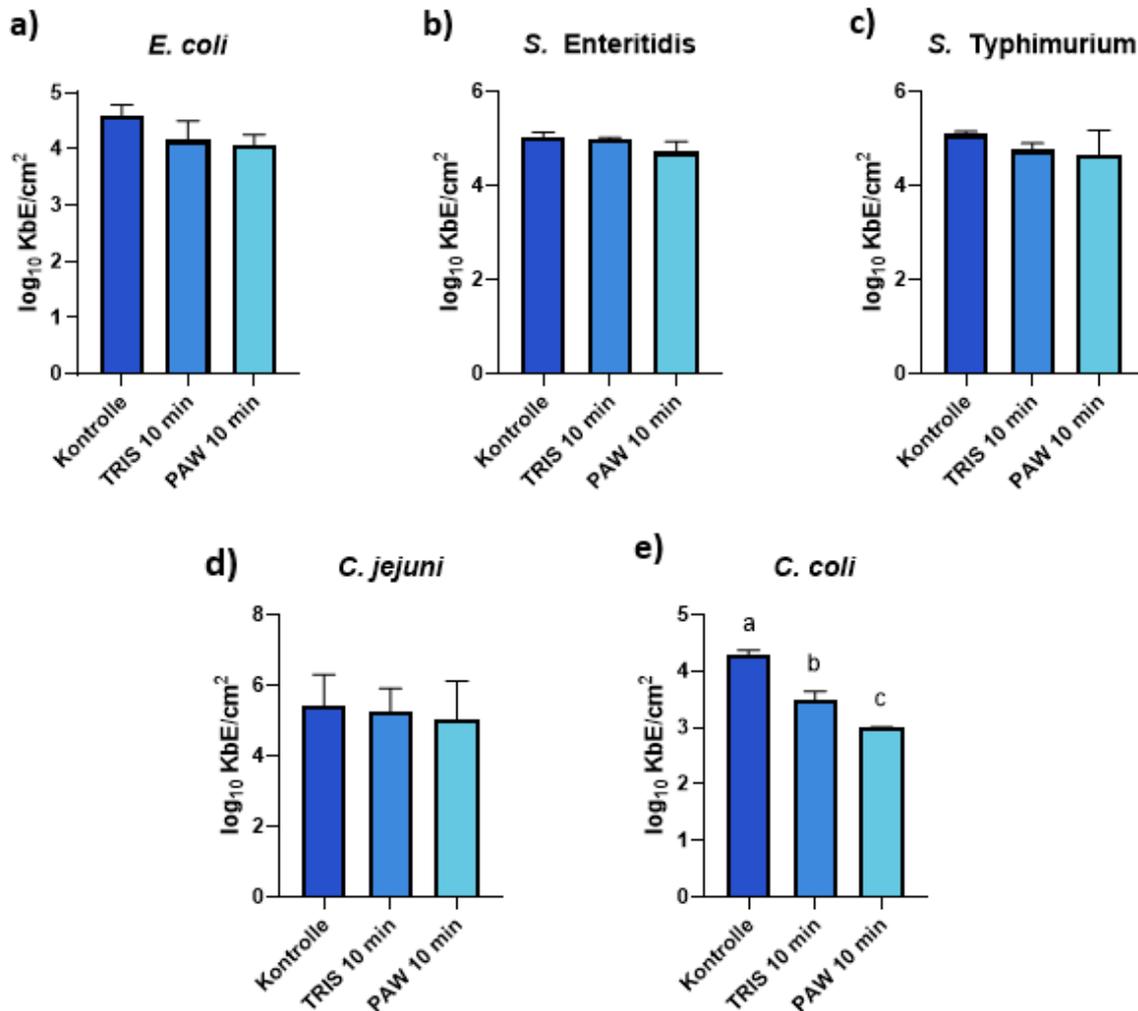


Abb. 22 a) - e): Keimreduktion von a) *E. coli*, b) *S. Enteritidis*, c) *S. Typhimurium*, d) *C. jejuni* und e) *C. coli* bei Anwendung von Plasma-aktiviertem Wasser für 10 Minuten auf Hähnchenfleisch. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert \pm Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3 (*C. coli* N = 2)

Kombinationsbehandlung von UV-C und PAW auf Schweinelachs und Hähnchenschnitzeln

Die kombinierte Behandlung von Schweinelachs und Hähnchenschnitzeln erfolgte wie unter „Kombinationsbehandlung von UV-C und PAW auf Schwarte und Hähnchenhaut“ beschrieben. Es wurde bei allen Proben eine Dosis von 204 mJ/cm² angewendet.

Die Ergebnisse der Behandlung von Schweinelachs (Abb. 23) zeigen, dass auch hier bei fast allen Behandlungsverfahren sig. Reduktionen im Vergleich zu der Kontrollgruppe erzielt werden konnten. Allerdings führte die UV-C-Einzelbehandlung bei *E. coli* zu keiner sig. Reduktion. Erst die kombinierte Anwendung zeigte Signifikanzen zur Kontrolle, die sich jedoch im Vergleich der drei Behandlungsverfahren nicht darstellte. Bei *S. Typhimurium* konnte zudem eine sig. Reduktion zur Kombinationsbehandlung erreicht werden, diese bestand aber nicht zwischen der TRIS- und PAW-Behandlung. Die Behandlung der Hähnchenschnitzel

(Abb. 24) führt zu identischen Reduktionen wie auf der Haut. Es konnten bei *E. coli*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* wieder sig. Reduktionen zur Kontrollgruppe erzielt werden, allerdings nicht zwischen den drei Behandlungsverfahren und bei *C. jejuni* wurden keine sig. Reduktionen zwischen den Gruppen festgestellt.

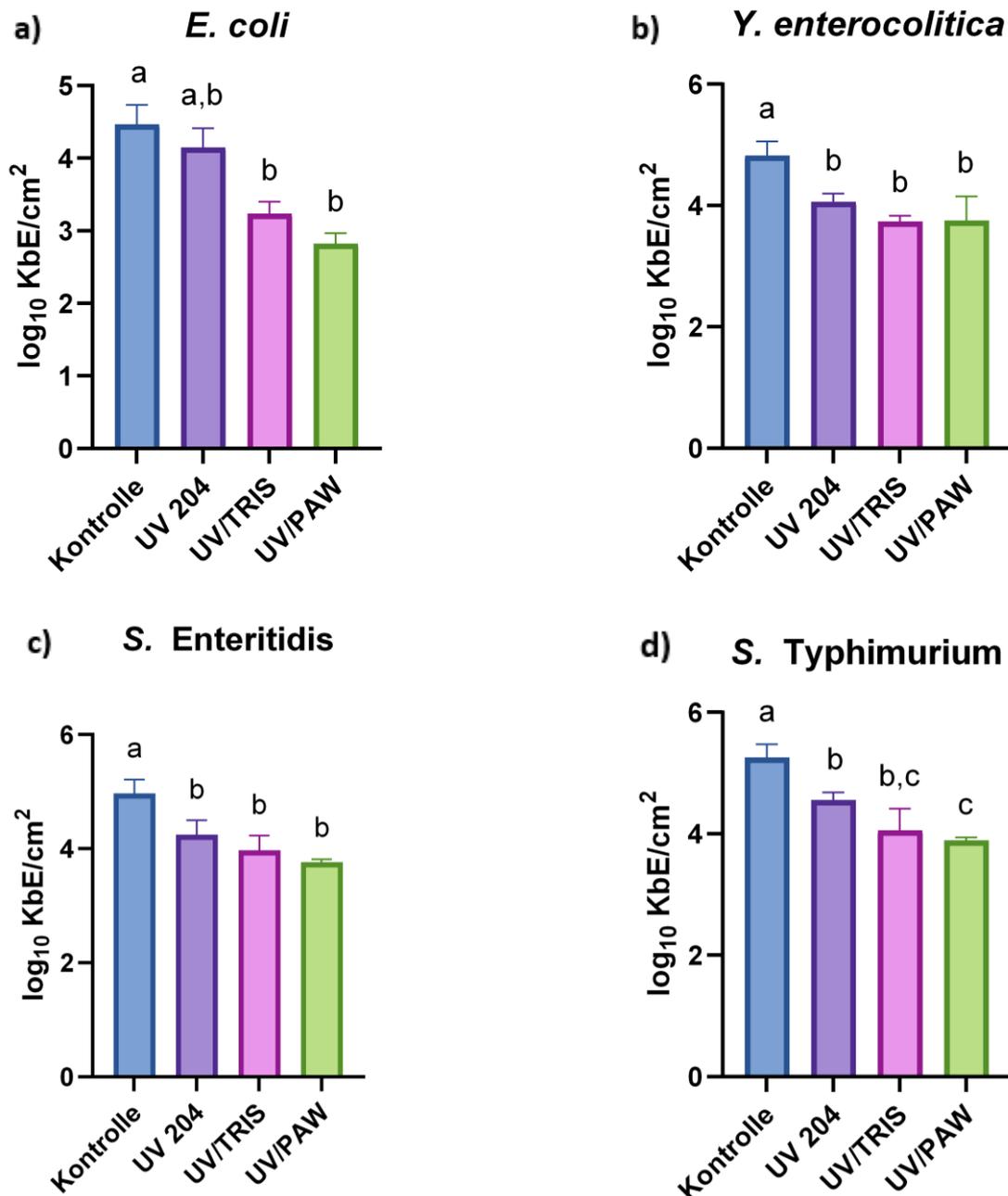


Abb. 23 a) - d): Keimreduktion von *E. coli*, *Y. enterocolitica*, *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Schweinelachs. Vergleichend sind die Daten der UV-C-Einzelbehandlung dargestellt. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

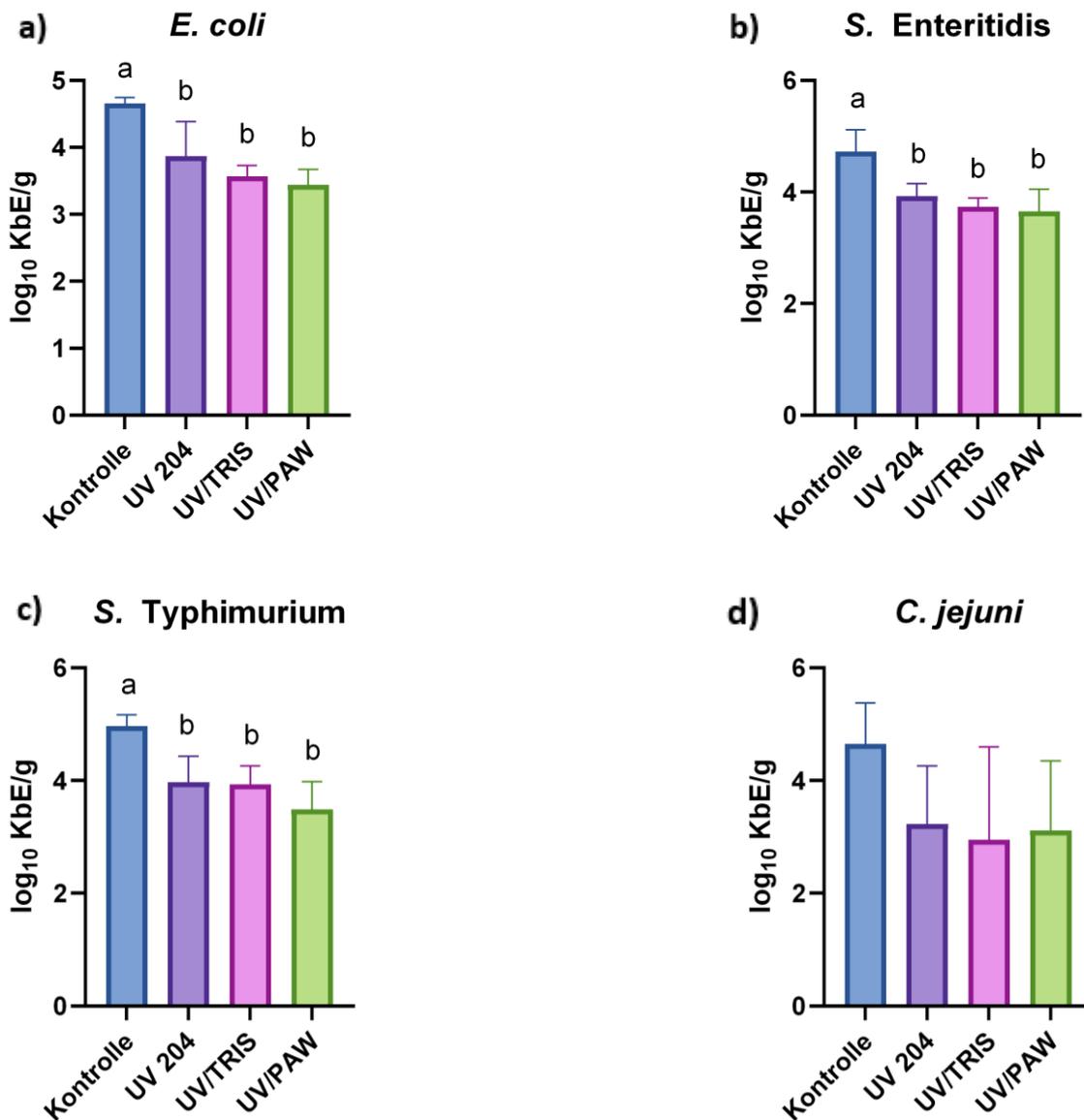


Abb. 24 a) - d): Keimreduktion von *E. coli*, *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* und *C. jejuni* bei kombinierter Anwendung von UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min) auf Hähnchenschnitzel. Vergleichend sind die Daten der UV-C-Einzelbehandlung dargestellt. Die Ergebnisse stellen den Mittelwert ± Standardabweichung dar. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser; N = 3

Die Anwendungen von UV-C-Bestrahlung und PAW sind grundsätzlich sinnvolle und mit erfolversprechenden Aussichten verbundene Desinfektionsmöglichkeiten, um pathogene Erreger zu minimieren. Gerade bei der in vitro Behandlung zeigten sich schnelle und wirkungsvolle Reduktionen um mehrere Log-Stufen bereits bei den einzelnen Verfahren.

Ziel des Projektes war es, eine kombinierte Anwendung zu nutzen, um nachteilige Effekte einer länger oder höher dosierten Einzelanwendung zu vermeiden und synergistische Effekte

gegen Mikroorganismen zu nutzen (Hürdenprinzip). Aus diesem Grund wurden die Einzelanwendungen nicht in derselben Intensität eingesetzt, wie sie bei singulärem Einsatz möglich und erforderlich wären.

Bei der kombinierten Anwendung auf Schweine/Hähnchenfleisch bzw. -haut zeigte sich, dass im Rahmen dieses Projektes trotz der vielversprechenden Vorversuche in vitro keine für die Praxis relevante Keimreduktion erzielt werden konnte. Mögliche Einflussfaktoren können hierbei die deutlich komplexeren Matrices (Haut bzw. Fleisch) gegenüber der flüssigen Lösung (in vitro) sein. Zudem kann die Wirksamkeit des PAWs durch Störfaktoren wie z.B. Proteine und Fette auf der Haut oder dem Fleisch, die komplexere Struktur mit Kavitäten, Haaren bzw. Federn und deren Follikel beeinträchtigt sein.

Durch Nutzung einer höheren UV-C-Dosis, sowie Weiterentwicklung des PAWs, z.B. durch eine verlängerte Produktionslaufzeit oder Einsatz eines anderen Puffers könnte die Wirksamkeit ggf. verbessert und die Aussichten auf erwartete Ergebnisse erhöht werden. Um die kombinierte Desinfektion jedoch erfolgreich in der Praxis anwenden zu können, bedarf es noch weiterer Forschung und Feinjustierung.

Sensorische Untersuchung von Hähnchenfleisch nach Kombinationsbehandlung

Ein ausgebildetes Panel von 12 Personen (Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Institutes für Lebensmittelqualität und -sicherheit) wurde für die sensorische Untersuchung nach ISO 8587:2006 (Rangordnungsprüfung) von Hähnchenschnitzeln ausgewählt. Die zu untersuchenden Proben wurden wie folgt zusammengestellt:

1. unbehandelte Proben (frische Hähnchenschnitzel)
2. Behandlung mit UV-C (Dosis von 204 mJ/cm²)
3. Behandlung mit PAW (Einwirkzeit von 10 min)
4. kombinierte Behandlung mittels UV-C (204 mJ/cm²) und PAW (10 min)

Die Vorbereitung der Proben fand außerhalb der Sichtweite der sensorischen Prüfpersonen statt. Hierfür wurden die Schnitzel, wie bereits in den vorherigen Versuchen beschrieben vorbereitet und behandelt (ohne Inokulation mit Pathogenen). Im Anschluss wurde je ein Schnitzel auf einen Keramikteller gelegt und diesem randomisiert ein dreistelliger Zahlencode zugewiesen (s. Abbildung 25). Den Prüfpersonen standen außerdem eine Dose mit Kaffeebohnen zur Neutralisation von Gerüchen, sowie ein Kugelschreiber und eine Flasche Wasser zur Verfügung. Dieser Aufbau befand sich in Einzelprüfkabinen, um Kommunikation unter den Prüfpersonen während der sensorischen Beurteilung zu unterbinden. Bei der Rangordnungsprüfung wurden die Proben in den Kriterienbereichen „Aussehen“, und „Geruch“ sortiert. Ein beispielhafter Prüfbogen findet sich im Anhang 8. Zur Auswertung wurden den rangierten Proben Rangpunkte zugewiesen (von am wenigsten = 1 bis am meisten = 4) und hieraus Rangsummen für jedes Produkt und Kriterium gebildet.



Abb. 25: Beispiel Sensorikteller (ohne Hähnchenschnitzel)

Mit den in der sensorischen Rangordnungsprüfung ermittelten Rangsummen wurden mittels Friedman-Test für ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ eine Varianzanalyse nach Rängen nach Formel 1 durchgeführt, wobei j die Anzahl der Prüfpersonen, p die Anzahl der in Rangfolge gebrachten Produkte und R_i die Rangsumme für das Produkt i ist.

Formel 1: Friedman-Test

$$F_{\text{Test}} = \frac{12}{j * p(p + 1)} (R_1^2 + \dots + R_p^2) - 3j(p + 1)$$

Anschließend wurde bei gleichbleibenden Unterschieden zwischen den Rangfolgen der Unterschied, der bei $\alpha = 0,05$ am wenigsten signifikant ist (Least Significant Difference, LSD), mit Formel 2 berechnet, wobei j die Anzahl der Prüfpersonen und p die Anzahl der in Rangfolge gebrachten Produkte ist.

Formel 2: Least Significant Difference

$$\text{LSD} = 1,96 \sqrt{\frac{j * p(p + 1)}{6}}$$

Mithilfe der berechneten LSD wurde eine Einordnung in Signifikanzniveaus vorgenommen. Abstände größer/gleich der LSD zwischen den einzelnen Rangsummen eines Merkmals wurden als signifikanter Abstand angenommen, während Abstände kleiner der LSD als nicht signifikant galten.

Bei der sensorischen Untersuchung zeigten sich in den Kategorien „Aussehen“ und „Geruch“ signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen den Proben. Je höher die jeweiligen Rangsummen, desto ausgeprägter die Zustimmung zu dem Kriterium. Die sensorische Beurteilung des Geruchs ergab einen signifikant stärkeren Fleischgeruch der behandelten Probe mit PAW im Vergleich zur Kontrolle (am wenigsten intensiv riechend \rightarrow am intensivsten riechend). Die anderen Behandlungsvarianten wichen nicht signifikant voneinander ab. Darüber hinaus wurde bei dem Gesamteindruck (am wenigsten verändert \rightarrow am meisten verändert) die Probe mit UV-C-Einzelbehandlung am schlechtesten bewertet und die mit PAW-Einzelbehandlung am besten. Dies lässt darauf schließen, dass die Anwendung von PAW auf Hähnchenschnitzeln entweder keine signifikanten Veränderungen hervorbringt und somit die Verbraucherakzeptanz nicht beeinträchtigt wäre oder sogar einen positiven Einfluss auf diese ausübt. Im Gegensatz dazu viel die UV-C-Einzelanwendung beim Gesamteindruck signifikant schlechter aus, jedoch wurde dies bei der kombinierten Behandlung wieder aufgehoben.

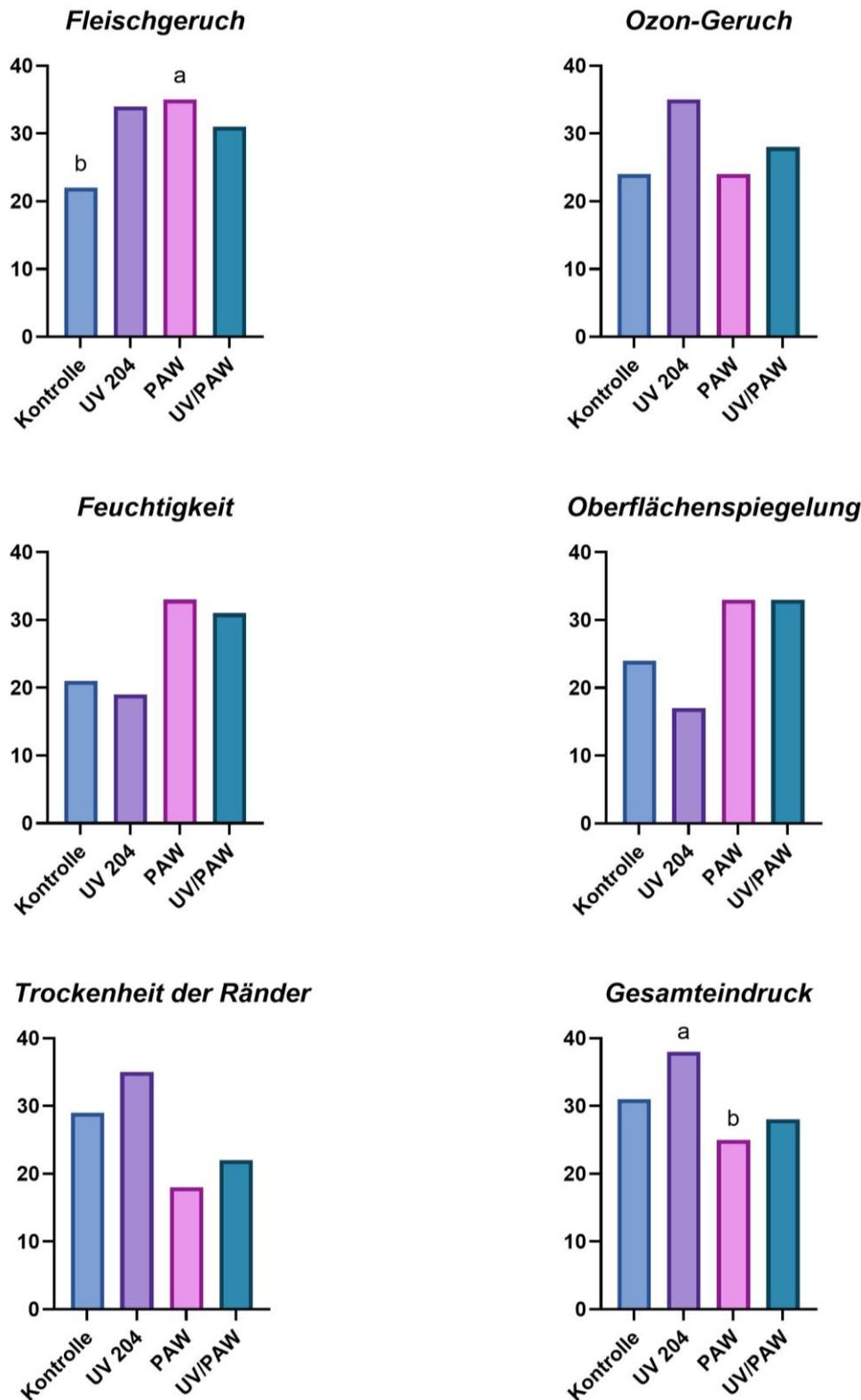


Abb. 26: Ergebnisse (Rangsummen) der sensorischen Beurteilung von Hähnchenschnitzeln. ^{ab}Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben weisen auf eine signifikante ($p \leq 0,05$) Reduktion hin. Hohe Werte beschreiben die meiste/stärkste Abweichung, wohingegen die niedrigeren Werte die geringste/wenigste Abweichung aufzeigen. UV = Ultraviolettstrahlung im kurzwelligen Bereich (254 nm), TRIS = Tris-gepuffertes Wasser; PAW = Plasma-aktiviertes Wasser

OG 2

2.4.3.4 Arbeitspaket B1 „Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-Erzeuger und EWNS-System“

Im Rahmen der Vorversuche zur Anwendung von PAW zur Dekontamination von Nährböden konnte die grundsätzliche Wirksamkeit dieser Methode erfolgreich nachgewiesen werden. PAW besitzt aufgrund seiner reaktiven Spezies und oxidativen Eigenschaften ein beachtliches Potenzial in der mikrobiellen Inaktivierung; dies wurde im vorliegenden Setting gezielt evaluiert. Parallel dazu ist die dekontaminierende Wirkung von UV-C-Strahlung sowohl durch Ergebnisse aus verwandten wissenschaftlichen Projekten als auch durch eine umfangreiche Literaturliteraturbasis umfassend belegt (vgl. Kowalski, 2009; Beck et al., 2014). Unter Berücksichtigung dieser Kenntnisse konnten im Labor die optimalen Betriebsparameter für die vorhandenen UV-C-Quellen experimentell bestimmt und validiert werden. Für nachfolgende Untersuchungen wurde PAW im Labor mittels des Elektrospraying fein vernebelt und homogen auf die Nährböden appliziert. Elektrospraying erlaubt die gezielte Herstellung und kontrollierte Dosierung elektrisch geladener Nanotröpfchen, wodurch eine gleichmäßige Benetzung der Proben gewährleistet wird. Zur Übertragung dieses Prinzips auf praxisnahe Bedingungen wurde ein speziell für den Einsatz in Laborumgebungen ausgelegtes Sprühkabinett konstruiert (siehe Abbildung 27).

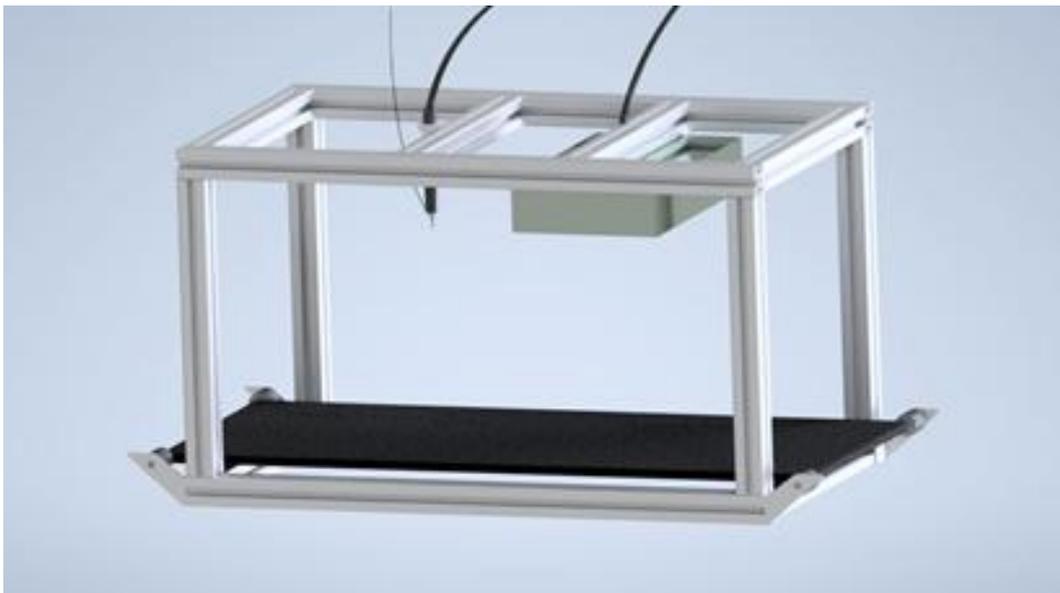


Abb. 27: Sprühkabinett

Dieses System ermöglicht es dem Forschungsteam, Schlachttierkörper oder deren Teilstücke unter realitätsnahen Bedingungen kontinuierlich mittels eines rollengelagerten Förderbandes durch eine hermetisch abgedichtete Kammer zu transportieren. Innerhalb der Kammer können die Proben gleichzeitig durch einen Hochspannungs-PAW-Zerstäuber – wobei die Wirkmechanismen des plasmaaktivierten Wassers und elektrostatisch vernebelter Nanostrukturen (Electrostatic Water Nanostructures, EWNS) kombiniert werden – sowie durch eine integrierte UV-C-Quelle behandelt werden (siehe Abbildung 28).

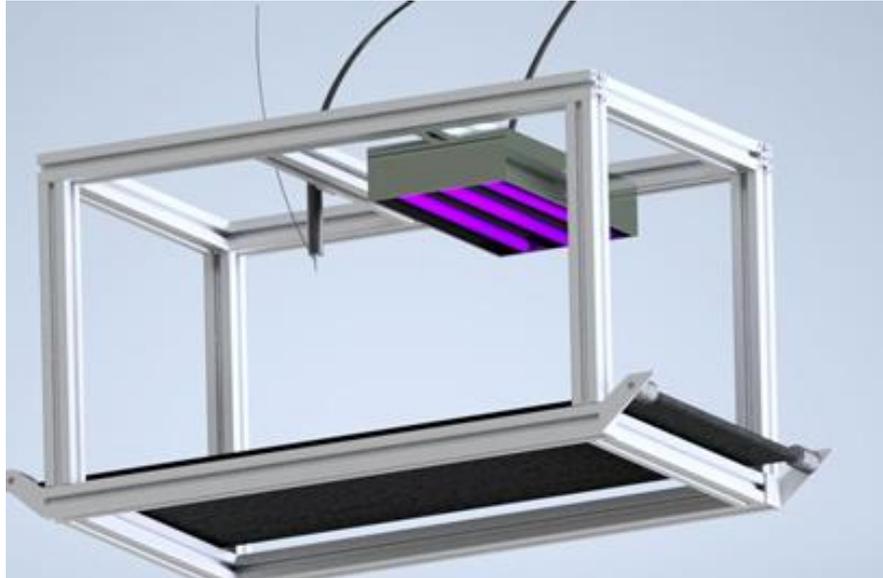


Abb. 28: PAW-Zerstäuber und UV-C-Quelle im Sprühkabinett

Diese innovative Kombination zur simultanen Applikation beider Dekontaminationsverfahren stellt einen bedeutenden Fortschritt gegenüber herkömmlichen Einzelanwendungen dar, da synergistische Effekte und eine Steigerung der mikrobiellen Reduktion erwartet werden dürfen (Sharma et al., 2018). Während der Entwicklung des elektrostatischen Sprühverfahrens zeigte sich jedoch, dass insbesondere die im PAW enthaltenen TRIS-Puffer-Salze erhebliche Schwierigkeiten bei der Erzeugung von EWNS verursachen. Insbesondere kam es bei einigen Zerstäubertechnologien zur Rekristallisation der Salze im Sprühkopf, was zu Funktionsverlusten und Verstopfungen führte. Infolge dieser Problematik mussten mehrere Zerstäubertechnologien als ungeeignet eingestuft und ausgeschlossen werden. Das aktuell verfolgte Sprühkonzept (siehe Abbildung 29) setzt daher auf eine druckgesteuerte Dosierung des PAW, wobei die eigentliche Zerstäubung durch Hochspannung und die Erzeugung des sogenannten Taylor-Cone-Effekts erfolgt. Diese Methode erlaubt eine stabile und effiziente Vernebelung, ist jedoch weiterhin durch die bereits erwähnte Salzkristallbildung im Sprühkopf beeinträchtigt.

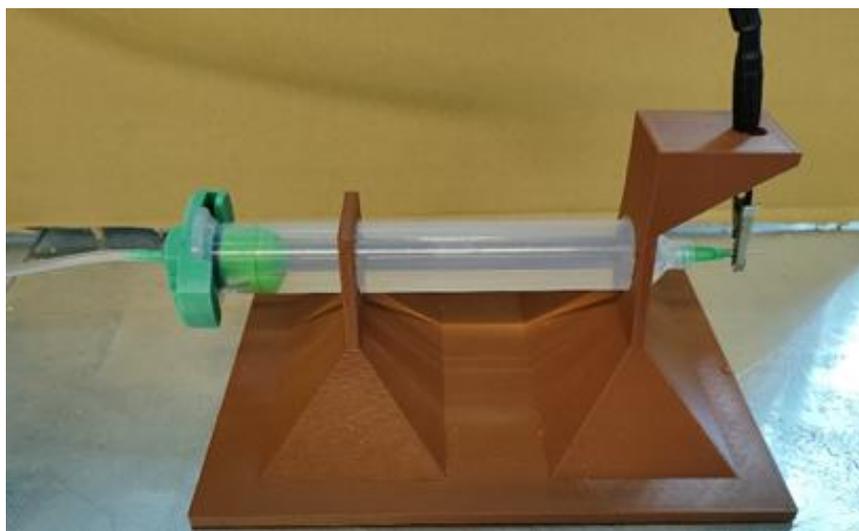


Abb. 29: Funktionsmuster Elektrospraying

2.4.3.5 Arbeitspaket B2 „Entwicklung Applikationsform der Dekontaminations-verfahren zum Einsatz im Sprühkabinett“

Die im Rahmen des Arbeitspakets B1 gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, dass das Elektrospraying als Applikationsmethode für PAW in Verbindung mit TRIS-Puffer erhebliche technische Limitationen aufweist. Insbesondere führte die im Elektrospraying erzeugte feine Vernebelung dazu, dass die engen Kanäle der Zerstäuberdüsen zur Auskristallisation des TRIS-Puffers neigen und somit eine Verstopfung zur Folge haben. Diese Problematik macht das Elektrospraying für die Applikation von PAW-TRIS-Lösungen in der vorgesehenen Form ungeeignet, sodass alternative Applikationssysteme in Betracht gezogen werden müssen.

Als vielversprechende Alternative wurde in der weiteren Entwicklung der pneumatische Zerstäuber ZERSTAUB M5 B identifiziert. Um die technische Eignung dieses Applikators systematisch zu prüfen, wurde PAW mit einem 0,5 molaren Tris(hydroxymethyl)aminoethan-Puffer (TRIS-Puffer) eingesetzt. Die Auswahl dieser Pufferkonzentration beruht auf vorangegangenen Untersuchungen im EIP-Projekt PlaWaKiRi, in denen die 0,5-molare TRIS-Lösung als optimal für eine signifikante antimikrobielle Wirkung bestimmt wurde. Allerdings konnte auch bei Verwendung des pneumatischen Zerstäubers nicht ausgeschlossen werden, dass bei dieser Konzentration des TRIS-Puffers potentielle Düsenverstopfungen durch Auskristallisationsprozesse auftreten. Um detaillierte Erkenntnisse über das Auftreten und den zeitlichen Verlauf solcher Verstopfungen zu erlangen, wurde ein systematischer Dreiwochenversuch konzipiert. In diesem Versuch wird fünfzehn Tage lang, jeweils von Montag bis Freitag, täglich die Durchflussmenge eines zweisekündigen PAW-TRIS-Sprühstoßes erfasst. Nach jedem Sprühvorgang erfolgt eine Spülung der Düse mit destilliertem Wasser, um frühzeitiger und dauerhafter Blockierung durch Salzablagerungen entgegenzuwirken. Diese routinemäßige Spülung stellt zugleich eine wichtige Standardisierung dar, um die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse innerhalb des Projektes und beim Projektpartner, der Tierärztlichen Hochschule (TiHo) Hannover, sicherzustellen. Durch die Verteilung der Sprühvorgänge über einen dreiwöchigen Zeitraum (vgl. Abbildung 30) werden mögliche Langzeiteffekte explizit berücksichtigt. Insbesondere lassen sich so Trends hinsichtlich zunehmender Verstopfungsneigung, Veränderungen der Durchflussmenge sowie die Effizienz der Spülmaßnahmen analysieren. Die durch diese Versuchsanordnung gewonnenen Daten tragen maßgeblich dazu bei, die Auswahl und Optimierung von Sprühapplikatoren für PAW-TRIS-Systeme zu verbessern, sodass ein verlässlicher, praxisnaher Einsatz unter Berücksichtigung technischer und mikrobiologischer Anforderungen evaluiert werden kann. Die Erkenntnisse dieser Arbeit bilden eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung robuster und nachhaltiger Verfahren zur Applikation antimikrobiell wirksamer Lösungen in lebensmittelnahen Anwendungen.

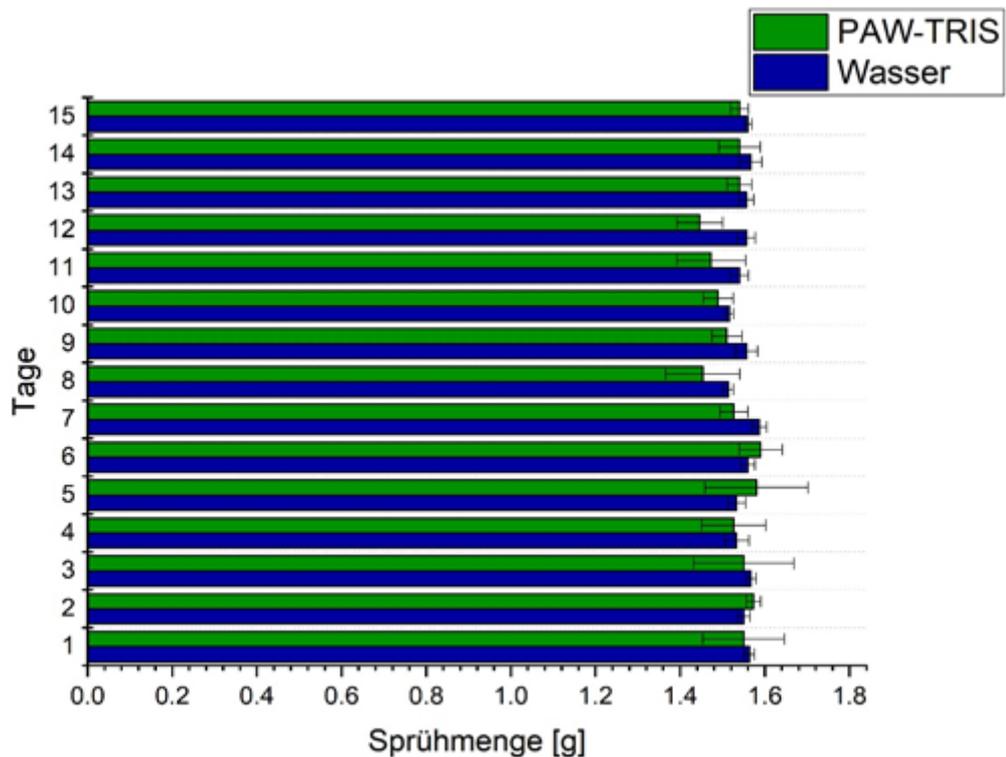


Abb. 30: Zeitliche Sprühmengenabgabe (PAW-TRIS & Wasser)

Die Auswertung der in Abbildung 30 dargestellten Sprühversuche zeigt, dass die mittels des pneumatischen Zerstäubers applizierte PAW-TRIS-Lösung im Beobachtungszeitraum von 15 Tagen eine Variabilität der ausgebrachten Sprühmenge von 1,45 g bis 1,59 g aufweist. Damit ergibt sich für dieses Testmedium eine Massendifferenz von 0,14 g. Im direkten Vergleich dazu wurde bei den Kontrollversuchen mit destilliertem Wasser eine minimale Sprühmenge von 1,51 g und eine maximale Menge von 1,59 g erfasst, was einer Differenz von lediglich 0,08 g entspricht. Im arithmetischen Mittel lagen die abgegebenen Masseneinheiten für beide Sprühmedien bei etwa 1,50 g pro Sprühstoß. Diese Daten verdeutlichen, dass die Schwankungen in der Sprühmenge bei Verwendung von PAW-TRIS deutlich höher ausfallen als bei Wasser. Bezogen auf den Schwankungsbereich entspricht die Variation der PAW-TRIS-Sprühstöße etwa 175 % des Schwankungsbereichs der Wassersprühstöße. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die physikochemischen Eigenschaften der PAW-TRIS-Lösung die Konstanz der Dosierung negativ beeinflussen können, vermutlich bedingt durch unterschiedliche Viskositäten, die Tendenz zu Auskristallisation oder andere lösungsspezifische Effekte im Sprühkopf. Um das Verhalten der Sprühapplikation beider Flüssigkeiten über den gesamten Versuchzeitraum anschaulich darzustellen, erfolgte in Abbildung 31 eine grafische Darstellung in Form einer linearen Messkurve. Ober- und unterhalb der Mittelwertlinie sind jeweils die maximalen und minimalen Standardabweichungen in Form gestrichelter Kurven eingezeichnet, die die Streuung der Messwerte visualisieren. Auf diese Weise werden sowohl die mittlere Entwicklung der Sprühmengen als auch die Schwankungsbreiten beider Testflüssigkeiten transparent dargestellt, was eine differenzierte Analyse des Sprühverhaltens ermöglicht. Die Ergebnisse implizieren, dass bei der Applikation von PAW-TRIS, insbesondere unter Langzeitanwendung, mit einer erhöhten Variabilität der ausgebrachten Dosismenge zu rechnen ist. Daraus ergibt sich ein relevanter Hinweis im Hinblick auf die Optimierung von Applikationsprozessen für

diese und vergleichbare Lösungen: Technische Maßnahmen zur weiteren Standardisierung der Dosierung erscheinen notwendig, um reproduzierbare und konsistente Ausbringungsmengen auch bei komplexeren fluiden Zusammensetzungen sicherzustellen. Die in dieser Untersuchung ermittelten Schwankungsbereiche liefern damit eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung geeigneter Qualitätskontroll- und Optimierungsstrategien für die Sprühapplikation von antimikrobiell wirksamen Flüssigkeiten im lebensmitteltechnologischen Kontext.

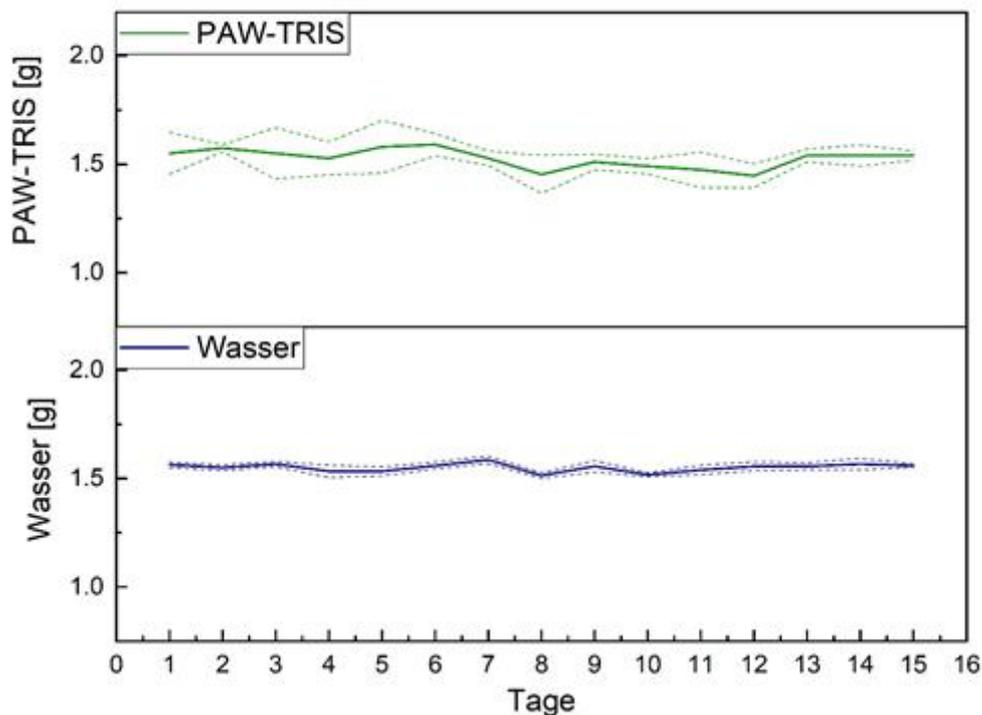


Abb. 31: Sprühverlaufskurven (PAW-TRIS & Wasser) mit Minimal- & Maximalabweichungskurven

- Die Auswertung der in Abbildung 31 dargestellten Messkurven verdeutlicht signifikante Unterschiede im Sprühverhalten zwischen PAW-TRIS-Lösung und Wasser. Während sich der Kurvenverlauf der destillierten Wasserproben durch eine weitgehende Annäherung an ein idealisiertes lineares Verhalten auszeichnet, weist die PAW-TRIS-Kurve deutlich stärkere Abweichungen vom linearen Verlauf auf. Diese nichtlinearen Schwankungen werden durch die gestrichelt eingezeichneten Standardabweichungskurven zusätzlich unterstrichen: Bei PAW-TRIS findet sich eine größere Divergenz zwischen Mittelwert- und Standardabweichungskurve, wohingegen die Sprühversuche mit Wasser nur geringe und marginale Abweichungen vom Median zeigen.
- Diese erhöhte Variabilität bei PAW-TRIS kann primär auf verfahrenstechnische und stoffliche Besonderheiten wie etwa Auskristallisationstendenzen, Viskositätsanpassungen oder partielle Ablagerungen an der Sprühdüse zurückgeführt werden. Experimentell ließ sich jedoch beobachten, dass durch eine kontinuierliche Spülung der Applikationsvorrichtung mit destilliertem Wasser das Risiko von Zusetzungs- und Ablagerungserscheinungen effektiv minimiert werden konnte, sodass eine weitgehend homogene Sprühapplikation über den gesamten

Beobachtungszeitraum gewährleistet war. In der Konsequenz stellt die regelmäßige und systematische Spülung eine essentielle Maßnahme zur Sicherstellung gleichbleibender Abgabemengen, insbesondere bei komplexeren, zu Auskristallisationen neigenden Lösungen wie PAW-TRIS, dar.

- Die Untersuchungen ermöglichen zudem die Ableitung quantitativer Aussagen zur experimentell zu erwartender Abweichung der abgegebenen Flüssigkeitsmengen: Während bei PAW-TRIS-Lösungen eine aufbaubedingte Streubreite von etwa 10 % detektiert wurde, lag diese bei den Wasserproben lediglich bei rund 5 %. Beide Werte bewegen sich im Rahmen der allgemein als akzeptabel betrachteten Toleranzen für experimentelle Laboruntersuchungen. Die festgestellten Abweichungen lassen sich insbesondere auf mögliche Schwankungen in der Druckluftversorgung, geringfügige Temperaturänderungen oder prozessuale Anpassungen während des Sprühvorgangs zurückführen, die im Rahmen solcher Langzeitbeobachtungen auftreten können.
- Insgesamt zeigt sich, dass die Applikation von PAW-TRIS lösungsspezifischen Herausforderungen unterliegt, die durch technische Maßnahmen wie eine konsequente Spülstrategie und eine entsprechende Prozesskontrolle adressiert werden können, um eine gleichbleibende und homogene Flüssigkeitsapplikation sicherzustellen. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern damit wichtige Hinweise zur Optimierung der Sprühtechnologie für antimikrobiell wirksame Flüssigkeiten unter praxisnahen Bedingungen.

2.4.3.6 Arbeitspaket B3 „Konstruktion & Fertigung einer Applikationskammer (Funktionsmuster)“

Im Rahmen der Auftaktveranstaltung am 19.09.2023, die gemeinsam mit dem Projektpartner TiHo Hannover stattfand, wurden zentrale Aspekte für die Entwicklung des Funktionsmusters diskutiert und grundlegende Anforderungen an das System definiert. Ein wesentliches Augenmerk lag dabei auf dem Transport der Schlachttierkörper sowie auf der Ausgestaltung und Integration eines sicherheitsrelevanten Behandlungsbereichs innerhalb des Funktionsmusters.

Zur Lösung der Transportfrage wurde die Implementierung eines stufenlos regelbaren Förderbands vereinbart. Diese technische Komponente ermöglicht einerseits eine präzise Steuerung der Fördergeschwindigkeit und andererseits eine flexible Anpassung an unterschiedliche Anforderungen, wie beispielsweise je nach Größe oder Form der zu behandelnden Schlachttierkörper. Die hohe Variabilität des Transportsystems trägt damit maßgeblich dazu bei, das Funktionsmuster in verschiedenen Anwendungsszenarien einsetzbar zu machen und die Anforderungen an einen praxisorientierten Betrieb zu erfüllen.

Für den sicherheitsrelevanten Behandlungsbereich wurde die Integration zweier zentraler Technologien konzipiert: Zum einen ein Sprühsystem zur Applikation von plasmaaktiviertem Wasser (PAW), das als antimikrobiell wirksames Medium bereits in vorangegangenen Versuchsanordnungen evaluiert wurde. Zum anderen ein UV-C-Strahlensystem mit einer spezifischen Wellenlänge von 254 nm, das zur Inaktivierung potenzieller Pathogene durch photochemische Prozesse beiträgt – ein Verfahren, dessen mikrobiologische Wirksamkeit gut dokumentiert ist (vgl. Kowalski, 2009). Beide Systeme wurden so ausgelegt, dass sie unabhängig von der Durchlaufrichtung der Schlachttierkörper und voneinander einzeln oder kombiniert betrieben werden können. Diese Unabhängigkeit bei der Interaktion der

Behandlungsprozesse erlaubt es, spezifische Dekontaminationsstrategien anzuwenden oder zu evaluieren und gewährleistet zugleich eine hohe Anpassungsfähigkeit des Funktionsmusters im experimentellen Kontext.

Ein weiteres zentrales Diskussionsthema betraf die Auswahl geeigneter Materialien für den Bau des Funktionsmusters. Im Vordergrund stand dabei die Sicherstellung der Arbeitssicherheit für das Bedienpersonal. Insbesondere aufgrund des geplanten Einsatzes in Umgebungen mit potenziell aggressiven Substanzen – etwa PAW oder Reinigungs- und Desinfektionsmitteln – ist die Verwendung korrosionsbeständiger Materialien von entscheidender Bedeutung. Dies gewährleistet einerseits eine lange Lebensdauer und Funktionsfähigkeit des Behandlungsmoduls und verhindert andererseits das Entstehen sicherheitsrelevanter Materialschäden, wie beispielsweise durch Korrosion oder Materialermüdung.

Die ergonomische und sicherheitstechnische Optimierung des Funktionsmusters wird durch die Integration einer zentralen Bedienungseinheit weiter unterstützt. Diese Einheit übernimmt die Steuerung sämtlicher relevanter Komponenten und Prozesse, wie dem Förderbandsystem, der PAW-Applikation und dem UV-C-Strahlersystem. Durch eine benutzerfreundliche Gestaltung dieser Steuerung wird ein intuitiver und sicherer Betrieb des Funktionsmusters gewährleistet. Die zentrale Bedienungseinheit erleichtert darüber hinaus die Dokumentation und Reproduzierbarkeit der im Rahmen der Dekontaminationsprozesse vorgenommenen Einstellungen.

In Summe wurden im Rahmen der Auftaktveranstaltung somit wesentliche technische und sicherheitsrelevante Grundlagen für die Entwicklung des Funktionsmusters gelegt, die sowohl den wissenschaftlichen Anforderungen des Projekts als auch den praktischen Bedürfnissen der späteren Anwendung Rechnung tragen.

CAD-Konstruktion des Funktionsmusters

Das Gestell für das entwickelte Funktionsmuster basiert auf eloxierten Aluminiumprofilen der Firma Rose+Krieger, die sich durch eine hohe modulare Anpassungsfähigkeit sowie eine ausgezeichnete Stabilität auszeichnen. Die einzelnen Aluminiumprofile werden mittels spezieller Flanschleisten miteinander verbunden, wodurch eine besonders feste und dennoch flexibel erweiterbare Konstruktion entsteht. Durch diese Konstruktionsweise kann das Funktionsmuster problemlos an wechselnde Anforderungen angepasst werden, etwa wenn zusätzliche Komponenten integriert oder verschiedene Versuchsanordnungen umgesetzt werden sollen. Die eloxierte Oberfläche der Aluminiumprofile trägt zudem zu einer erhöhten Korrosionsbeständigkeit bei, sodass die Konstruktion auch unter den oftmals herausfordernden Bedingungen im Laboralltag, beispielsweise bei Kontakt mit feuchten oder aggressiven Medien, langanhaltend funktional bleibt. Die in Abbildung 32 abgebildete Rahmenstruktur illustriert anschaulich sowohl die präzise Fertigung als auch die Variabilität der Verbindungsmöglichkeiten mithilfe der Flanschleisten. Insgesamt gewährleistet die Verwendung von Aluminiumprofilen in Verbindung mit belastbaren Verbindungsmodulen die mechanische Robustheit und Langlebigkeit des Funktionsmuster-Gestells und bildet damit eine zuverlässige Grundlage für den weiteren Ausbau sowie den sicheren Betrieb der gesamten Versuchseinrichtung.



Abb. 32: CAD-Funktionsmuster-Gestell

Die bauliche Ausgestaltung des Funktionsmusters sieht eine modulare Einhausung mittels transparenter Platten aus Polymethylmethacrylat (PMMA) vor, die passgenau in zuvor eingelassene Kunststoff-Einlegeleisten der Aluminiumprofilnuten eingesetzt werden. Diese Konstruktion gewährleistet einerseits einen effektiven Schutz des inneren Arbeitsbereichs vor externen Einflüssen und bietet andererseits optimale Einsehbarkeit für die Bedienenden sowie eine erleichterte Überwachung der Abläufe im Funktionsmuster. Das verwendete PMMA zeichnet sich durch eine hohe Transparenz und chemische Beständigkeit aus, wodurch es sich besonders für den Einsatz in technischen Applikationen mit erhöhten hygienischen Anforderungen eignet.

Die Stirnseiten des Funktionsmusters sind mit horizontal und vertikal verstellbaren Gleitebenen ausgestattet, deren Neigungswinkel individuell eingestellt werden kann. Diese Konstruktionsweise ermöglicht eine flexible Anpassung der Produktführung innerhalb der Anlage an unterschiedliche Geometrien oder Prozessanforderungen. Die Gleitflächen selbst sind aus PTFE gefertigt – ein Material, das für seine außerordentliche Korrosionsbeständigkeit und geringe Reibungskoeffizienten bekannt ist. Diese Eigenschaften unterstützen nicht nur einen schonenden Materialtransport, sondern erleichtern auch die Reinigung und Instandhaltung der Kontaktflächen nach jedem Betriebszyklus, was insbesondere beim Einsatz mit kontaminationsgefährdeten Produkten von Bedeutung ist.

Zwischen den Gleitebenen befindet sich das Transportband, das als zentrales Element des internen Materialflusses dient. Die Geschwindigkeit und Drehrichtung des Bandes lassen sich stufenlos regulieren, sodass eine exakte Anpassung an verschiedene Prozessparameter und Transportanforderungen vorgenommen werden kann. Diese präzise Steuerbarkeit fördert sowohl die Prozesssicherheit als auch die reproduzierbare Gestaltung experimenteller Abläufe.

Für die sichere und ergonomische Bedienung des Funktionsmusters steht eine zentral angeordnete Bedieneinheit zur Verfügung (siehe Abbildung 33). Durch dieses Interface ist es möglich, sämtliche relevanten Parameter der Anlage – etwa Fördergeschwindigkeit, Einstellungen der Gleitebenen oder Sprühsysteme – komfortabel zu steuern und gegebenenfalls zu justieren. Die benutzerfreundliche Gestaltung der Bedieneinheit trägt

maßgeblich dazu bei, potenzielle Bedienfehler zu minimieren und einen effizienten, störungsarmen Betrieb sicherzustellen. Somit fungiert die Bedieneinheit als zentrale Schnittstelle zwischen Anwender und Maschine und ermöglicht eine sichere, intuitive und an die jeweiligen Anforderungen angepasste Prozessführung.



Abb. 33: CAD-Funktionsmuster-Bedienungseinheit

Um den besonderen Anforderungen an Langlebigkeit und Betriebssicherheit gerecht zu werden, wird für die Bedieneinheit des Funktionsmusters konsequent auf den Einsatz korrosionsbeständiger Materialien gesetzt. Insbesondere kommt der Edelstahl 1.4307 zum Einsatz, der sich durch eine ausgeprägte Widerstandsfähigkeit gegenüber feuchten und chemisch aggressiven Umgebungsbedingungen auszeichnet. Die Wahl einer Blechdicke von 1,5 mm gewährleistet dabei eine hohe mechanische Stabilität der Bauteile und trägt dazu bei, das Risiko von Verformungen oder Beschädigungen der Bedieneinheit bei regelmäßiger Nutzung zu minimieren.

Die gesamte Fertigung der Bedieneinheit erfolgt innerhalb der HAWK Fakultät I, wodurch eine präzise Umsetzung der technischen Anforderungen und eine enge Qualitätskontrolle im Herstellungsprozess sichergestellt werden können. Für den Zuschnitt der Edelstahlbleche wird ein moderner Faserlaser verwendet, der eine außerordentliche Präzision beim Ausschneiden kleinster Details und komplexer Konturen ermöglicht. Ergänzend zu den Laserschneidarbeiten werden sämtliche notwendigen Abkantungen und Schweißarbeiten ebenfalls hausintern ausgeführt. Diese integrierte Fertigung erlaubt es, die einzelnen Arbeitsschritte optimal aufeinander abzustimmen und flexibel auf etwaige Konstruktionsanpassungen zu reagieren.

Um einen sicheren und effizienten Betrieb des Sprühsystems zu unterstützen, wurde unterhalb des Transportbandes ein spezielles Ablaufsystem installiert. Dieses System sammelt das beim Betrieb anfallende, versprühte PAW und leitet es in einen externen Behälter ab. Auf diese Weise kann das Sprühmittel entweder fachgerecht entsorgt oder – je nach Anwendungsfall – einer möglichen Wiederverwendung zugeführt werden. Dadurch wird sowohl ökologischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten Rechnung getragen.

Im unteren Bereich des Gestells werden schwarze Einhausungsplatten aus Polyethylen (PE) verwendet. Das Material ist nicht nur robust und beständig gegenüber chemischen Einflüssen, sondern erleichtert durch die farbliche Absetzung auch die visuelle Abgrenzung zu anderen

Funktionsbereichen. Auf diesen PE-Platten sind zentrale Steuerungselemente, wie die Bedieneinheit mit Schaltern und Touchdisplay, eine Wartungseinheit sowie der 230-V-Anschluss, ergonomisch angeordnet (siehe Abbildung 34). Damit werden alle für den Betrieb und die Wartung erforderlichen Komponenten übersichtlich zusammengefasst und sind für das Bedienpersonal jederzeit gut zugänglich. Diese konstruktiven Maßnahmen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz, Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit des gesamten Funktionsmusters und spiegeln den hohen Anspruch an die technische Umsetzung wider. Die Verwendung der Einhausungsplatten im unteren Bereich des Funktionsmusters erfüllt gleich mehrere zentrale Funktionen im Hinblick auf Sicherheit, Hygiene und einen strukturierten Anlagenaufbau. Einerseits bieten die aus robustem Polyethylen (PE) gefertigten Platten einen wirksamen Schutz vor Auftreffen von Sprühmittel, mechanischen Einwirkungen und sonstigen potenziellen Störfaktoren während des Betriebs.



Abb. 34: CAD-Funktionsmuster

Gleichzeitig fördern sie ein ordentliches und gut strukturiertes Erscheinungsbild des Anlagenaufbaus, was die Übersichtlichkeit und Wartungsfreundlichkeit der Gesamtkonstruktion maßgeblich verbessert. Die gezielte Anordnung aller wesentlichen Steuerungs- und Wartungskomponenten auf diesen Einhausungsflächen unterstützt darüber hinaus eine ergonomische und sichere Handhabung während des Betriebs und bei Instandhaltungsmaßnahmen.

Eine besondere sicherheitstechnische Bedeutung kommt der Platzierung des UV-C-Strahlers direkt unterhalb der oberen Einhausungsplatte zu. Durch diese Anordnung wird eine gezielte und kontrollierte Bestrahlung der zu behandelnden Flächen ermöglicht – bei gleichzeitigem Schutz des Bedienpersonals vor direkter Strahlungsexposition. UV-C-Strahlung mit einer Wellenlänge von 254 nm wird in der wissenschaftlichen und industriellen Praxis vielfach zur effizienten Inaktivierung von Mikroorganismen eingesetzt, da sie in der Lage ist, Nukleinsäuren von Bakterien, Viren und Pilzen irreversibel zu schädigen und so deren Vermehrungsfähigkeit zuverlässig zu unterbinden (vgl. Kowalski, 2009). Die Integration dieses Strahlers stellt daher einen essenziellen Bestandteil des kombinierten Dekontaminationskonzepts dar und trägt dazu bei, die mikrobiologische Sicherheit der behandelten Oberflächen auf hohem Niveau zu gewährleisten.

In Summe erlaubt der durchdachte Aufbau des Gesamtsystems eine zielgerichtete, reproduzierbare und effiziente Durchführung der Sprühbehandlung mit plasmaaktiviertem Wasser. Gleichzeitig gewährleisten die Schutzmechanismen der Einhausungsplatten, die strategische Positionierung des UV-C-Systems und die zentrale Bedien- sowie Wartungseinheit ein hohes Maß an Arbeitssicherheit und prozessualer Kontrolle. Diese konstruktiven Maßnahmen tragen entscheidend dazu bei, die Anforderungen an eine wissenschaftlich fundierte, praxisorientierte und sichere Anwendung innovativer Desinfektionstechnologien im Rahmen der Versuchseinrichtung zu erfüllen.

CAD-Konstruktion Sprühsystem

Der folgende Text befasst sich mit der Integration des pneumatischen Zerstäubers ZERSTAUB M5 B in das entwickelte Sprühsystem. Der ZERSTAUB M5 B ist darauf ausgelegt, bei einem variabel einstellbaren Betriebsdruck zwischen 1 und 5 bar betrieben zu werden. In Abhängigkeit vom jeweiligen Betriebsdruck werden Zerstäubungsraten im Bereich von 0,05 bis 0,2 Liter pro Minute erreicht. Die verwendete Düsendgröße von 0,3 mm ermöglicht hierbei eine feine und homogene Vernebelung des eingesetzten Mediums, wie beispielsweise PAW.

Ein zentrales Ziel bei der Auswahl und Integration dieses Pneumatik-Zerstäubers bestand darin, eine benutzerfreundliche sowie wartungsarme Lösung zu realisieren. Dazu wurden verschiedene konstruktive Maßnahmen umgesetzt, die eine kontinuierliche Nachfüllung des zu zerstäubenden Mediums während des Betriebs ermöglichen. Die Nachfüllmechanismen sind so ausgelegt, dass Unterbrechungen des Sprühvorgangs auf ein Minimum reduziert werden können, was einen entscheidenden Beitrag zu einer hohen Prozesssicherheit und Effizienz leistet.

Ebenfalls wurde besonderes Augenmerk auf die Reinigungsmöglichkeiten des Sprühsystems gelegt. Die Baugruppen wurden so gestaltet, dass eine unkomplizierte und effektive Reinigung sämtlicher Komponenten möglich ist, um die hygienischen Anforderungen im Bereich der antimikrobiellen Behandlung sicherzustellen und das Risiko von Verstopfungen sowie Kontaminationen während des Betriebs zu minimieren. Der konstruktive Aufbau des Gesamtsystems, inklusive der Integration des Zerstäubers und der relevanten Peripherie, ist in Abbildung 35 schematisch dargestellt.

Die gewählte Systemarchitektur vereint damit benutzerorientierte Bedienbarkeit, geringe Wartungsanforderungen und eine robuste technische Auslegung. Diese Merkmale bilden die Grundlage für einen kontinuierlichen, zuverlässigen Betrieb des Sprühsystems im Labor- und Versuchsumfeld und tragen wesentlich zur Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf praktische Anwendungsbereiche bei.

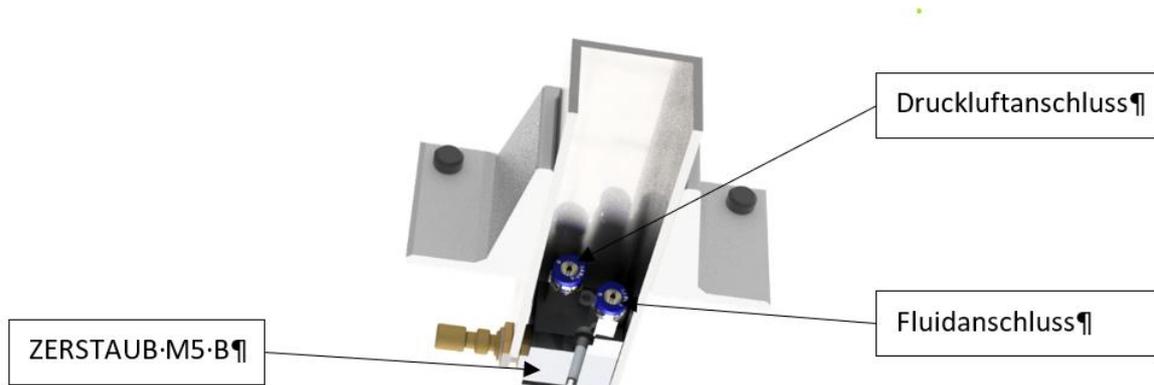


Abb. 35: CAD-Sprühsystem

Der ZERSTAUB M5 B Zerstäuber wurde für den Einsatz im Funktionsmuster in einem speziell vorgesehenen Rohr aus V2A-Edelstahl positioniert. Diese Konstruktion erfüllt mehrere wesentliche Aufgaben: Zum einen bietet das hochwertige Edelstahlrohr einen zuverlässigen Schutz des empfindlichen Zerstäubers vor unvorhersehbaren mechanischen Einflüssen, wie etwa Stößen oder Vibrationen im Betrieb. Zum anderen fungiert das Rohr gleichzeitig als Justagehalterung für das gesamte Sprühsystem, wodurch eine exakte Positionierung und stabile Montage des Zerstäubers gewährleistet wird. Diese präzise Ausrichtung ist entscheidend für eine reproduzierbare und gleichmäßige Verteilung des zerstäubten Mediums.

Die Umsetzung der fluidführenden Komponenten erfolgt ebenfalls unter Berücksichtigung hoher technischer und chemischer Anforderungen. Wie in Abbildung 36 dargestellt, werden zwei Glasgefäße aus Borosilikatglas in das Sprühsystem integriert. Borosilikatglas ist aufgrund seiner außergewöhnlichen chemischen Beständigkeit gegenüber den eingesetzten Fluiden, insbesondere PAW und dem verwendeten Spülmedium, prädestiniert für diesen Anwendungsbereich. Weiterhin zeichnet sich dieses Glas durch eine sehr gute mechanische Stabilität aus, was seine Zuverlässigkeit und Sicherheit im täglichen Betrieb zusätzlich erhöht.

Das Zusammenspiel aus der robusten Edelstahlummantelung und dem Einsatz chemisch sowie mechanisch resistenter Glassysteme gewährleistet somit nicht nur einen langfristig sicheren und störungsarmen Betrieb des Sprühsystems, sondern erleichtert darüber hinaus die Wartung, Reinigung und Überwachung der Prozessflüssigkeiten. Diese konstruktiven Merkmale tragen dazu bei, den hohen Anforderungen an Hygiene, Beständigkeit und Betriebssicherheit im experimentellen sowie im potenziellen späteren Praxiseinsatz gerecht zu werden.

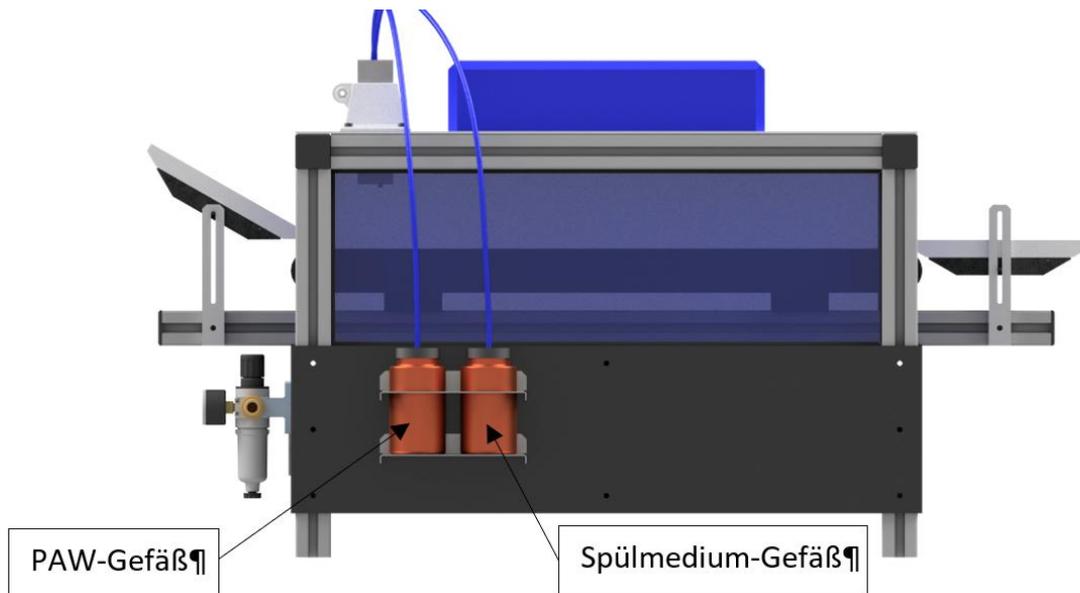


Abb. 36: Glasgefäße für das PAW und Spülmedium

Die Anordnung der Glasgefäße im Sprühsystem erfolgte mit besonderem Fokus auf Zugänglichkeit, Wartungsfreundlichkeit und eine effiziente Prozessführung. Das Glasgefäß, das zur Bevorratung des PAWs dient, ist gezielt an der äußeren Rückwand des Systems positioniert. Diese bauliche Platzierung ermöglicht es dem Bedienpersonal, das Behältnis jederzeit unkompliziert und ohne aufwendige Demontagearbeiten nachzufüllen. Die Folge sind signifikant reduzierte Ausfallzeiten und eine deutliche Erleichterung der Wartungsarbeiten – ein Aspekt, der insbesondere im Hinblick auf betriebliche Effizienz und kontinuierliche Anlagenverfügbarkeit von hoher Relevanz ist.

Ergänzend zum PAW-Reservoir befindet sich an derselben Rückwand ein zweites Borosilikatglasgefäß, das speziell für die Aufnahme eines Spülmediums vorgesehen ist. Nach jedem Durchlauf des Sprühsystems wird dieses Spülmedium gezielt eingesetzt, um die internen Komponenten – insbesondere die Düse des pneumatischen Zerstäubers – gründlich zu reinigen. Dieser kontinuierliche Reinigungsprozess ist entscheidend, da er das Zusetzen der Düse durch mögliche Rückstände oder Ablagerungen zuverlässig unterbindet und somit die Funktionstüchtigkeit sowie eine konstant hohe Sprühqualität des Systems gewährleistet.

Die nebeneinander angeordnete Platzierung beider Glasgefäße an der äußeren Rückwand trägt dazu bei, dass die Zugänglichkeit und die Bedienbarkeit des Sprühsystems unabhängig von laufenden Prozessen oder anderen Anlagenkomponenten uneingeschränkt erhalten bleiben. Gleichzeitig vereinfacht sie das Handling bei Routineinspektionen und Serviceintervallen, da Befüllung, Entnahme und Überprüfung der Medien problemlos und sicher durchgeführt werden können. Darüber hinaus lässt sich durch diese Anordnung eine effiziente interne Reinigung des Sprühsystems erzielen, ohne die Funktionalität des Gesamtsystems zu beeinträchtigen. Diese Gestaltungslösung vereint damit die Anforderungen an Prozesssicherheit, Hygiene und Anwenderfreundlichkeit auf optimale Weise.

CAD-Bestückung der Bedieneinheit

Die Bedieneinheit des Funktionsmusters bildet das zentrale Interface, über das sämtliche elektrischen und elektromechanischen Funktionen der Gesamtanlage gesteuert und überwacht werden (siehe Abbildung 37). Sie wurde mit Blick auf eine möglichst hohe Betriebssicherheit, Nutzerfreundlichkeit und Prozesskontrolle entwickelt.

Ein zentrales Sicherheitsmerkmal der Bedieneinheit ist der gut zugängliche NOT-Aus-Schalter. Dieser ist essenziell, um im Havariefall die gesamte Anlage unverzüglich und zuverlässig stillzulegen. Durch Betätigung dieses Schalters wird die Steuerspannungsversorgung sofort getrennt, sodass alle elektrischen Komponenten, einschließlich beweglicher Teile wie Transportband und des Sprühsystems, unmittelbar abgeschaltet werden. Dadurch werden potenzielle Gefährdungen für das Bedienpersonal und Schäden an der Anlage bestmöglich vermieden.

Der Power-Schalter dient als Hauptschalter zur Steuerung der gesamten Steuerspannungsversorgung und stellt sicher, dass die elektrische Versorgung der Anlage gezielt aktiviert oder deaktiviert werden kann. Somit ist ein sicherer An- und Abfahrbetrieb unter Einhaltung aller elektrotechnischer Schutzmaßnahmen gewährleistet.

Für die präzise Steuerung der einzelnen Funktionsmodule stehen gezielte Bedienelemente zur Verfügung. So kann die UVC-Lampe der Anlage über zwei separate Taster geschaltet werden, was dem Nutzer Flexibilität hinsichtlich der Aktivierung der UV-C-Strahlungsquelle bietet. Analoge Steuerelemente in Form weiterer Taster ermöglichen zudem das individuelle Schalten der Absaugung, womit gezielt auf Prozessanforderungen oder Sicherheitsaspekte reagiert werden kann.

Ein weiteres zentrales Bedienelement stellt das integrierte Potentiometer dar, das eine stufenlose Regelung der Förderbandgeschwindigkeit gestattet. Durch einfaches Drehen kann die Geschwindigkeit des Bandes präzise an die jeweiligen Erfordernisse angepasst werden. Zusätzlich ist das Potentiometer multifunktional ausgelegt und erlaubt eine Änderung der Laufrichtung des Förderbandes, was die Flexibilität des Materialflusses innerhalb der Anlage deutlich erhöht.

Der Sprühvorgang kann zielgerichtet über einen spezialisierten Sprühtaster ausgelöst werden. Durch einfaches Betätigen wird ein einmaliger Sprühimpuls aktiviert. Alternativ kann durch längeres gedrückt Halten des Tasters ein kontinuierlicher Dauersprühvorgang eingeleitet werden, der erst durch das Loslassen der Taste wieder beendet wird. Dies ermöglicht eine individuelle Anpassung des Sprühbetriebs an unterschiedliche Bearbeitungsmodi und Versuchsanordnungen. Komplettiert wird die Bedienoberfläche durch ein Touchdisplay. Die moderne, berührungsempfindliche Benutzeroberfläche bietet eine Vielzahl weiterführender Funktionen, wobei insbesondere eine intuitive Navigation zwischen den verschiedenen Parametereinstellungen und Systemkontrollfunktionen realisiert wird. Das Display ermöglicht beispielsweise die Überwachung aktueller Betriebszustände, die Verwaltung von Parameterprofilen, die Anzeige von Warnmeldungen sowie – je nach Ausbaustufe – die Protokollierung und Speicherung von Betriebsdaten. Insgesamt gewährleistet die umfassende und ergonomisch konzipierte Bedieneinheit einen sicheren, flexiblen und anwendungsorientierten Betrieb der Gesamtanlage und unterstützt den Nutzer zuverlässig in allen Prozessphasen von der Inbetriebnahme bis zur Wartung.

- Sprühzeiteinstellung: Die Dauer des Sprühvorgangs wird direkt über die Touchoberfläche konfiguriert.
- Anzeige der Förderbandgeschwindigkeit: Die aktuelle Geschwindigkeit des Förderbandes wird in prozentualer Angabe dargestellt. Dies erleichtert die korrekte Wiedereingabe der Geschwindigkeit nach einem Richtungswechsel des Bandes.

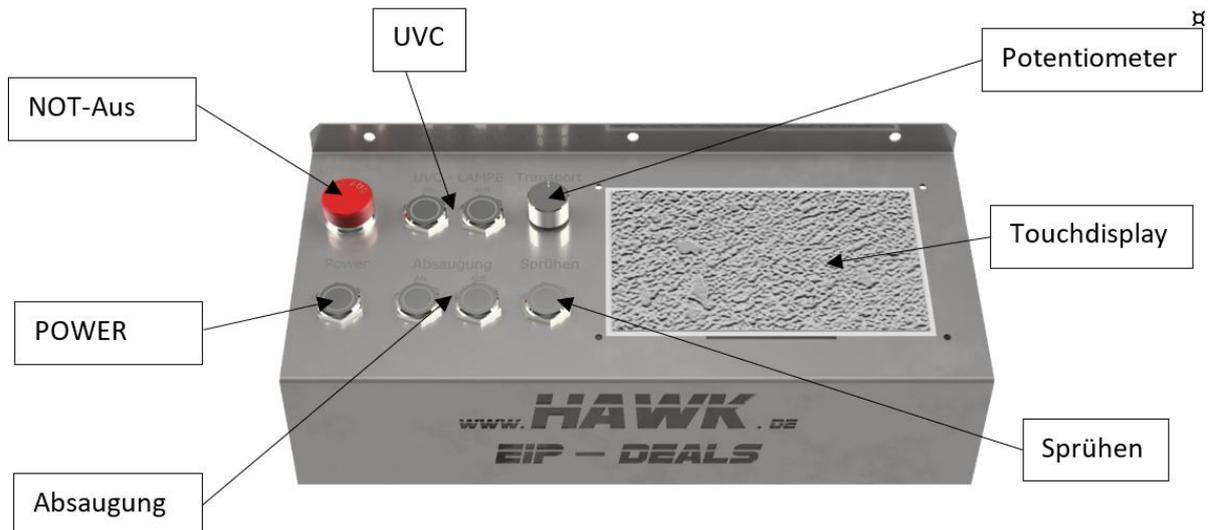


Abb. 37: CAD-Bedienungseinheit mit elektrischen Komponenten

Aufbau des Funktionsmusters

Abbildung 38 zeigt das vollständig montierte Funktionsmuster in seinem finalen Aufbau. Unmittelbar nach Abschluss der Montagearbeiten wurde das gesamte System einem strukturierten Funktionscheck unterzogen. Zentraler Fokus dieser Überprüfung lag auf der Kontrolle aller Verbindungs- und Schnittstellenkomponenten hinsichtlich ihrer Dichtigkeit und Funktionsfähigkeit. Dazu zählte insbesondere, dass sowohl die flüssigkeitsführenden Leitungen und Anschlüsse als auch die elektronischen Steckverbindungen auf ordnungsgemäßen Sitz, ungehinderten Durchfluss und mögliche Undichtigkeiten untersucht wurden. Ziel war es, sicherzustellen, dass keine Leckagen auftreten und alle konzeptionell vorgesehenen Medienwege voll funktionsfähig sind.

Im direkten Anschluss an diese initiale Überprüfung erfolgte eine umfassende Funktionalitätskontrolle sämtlicher Systemkomponenten. Dabei wurden die einzelnen Module und Baugruppen – darunter das Sprühsystem mit Pneumatik-Zerstäuber, die Fördereinrichtung, die UV-C-Behandlungseinheit, die Absaugung sowie die gesamte Steuer- und Bedieneinheit – systematisch getestet und im Zusammenspiel evaluiert.

Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der Überprüfung, ob alle Komponenten nicht nur autark, sondern insbesondere auch im Zusammenspiel fehlerfrei funktionieren und die vorgesehenen Abläufe zuverlässig und reproduzierbar ablaufen.

Im Anschluss an die Funktionalitätskontrollen wurde ein erster Testlauf durchgeführt, bei dem der gesamte Betriebsablauf simuliert und insbesondere der Sprühvorgang analysiert wurde. Die Tests dienen dazu, die Praxistauglichkeit und die Interaktion aller Systemelemente unter

realitätsnahen Betriebsbedingungen zu validieren. Hierbei wurde nicht nur die technische Arbeitsweise geprüft, sondern auch der Bedienkomfort und mögliche Optimierungsbedarfe im praktischen Handling identifiziert. Erkenntnisse aus diesem ersten Testlauf bilden die Grundlage für mögliche weitere Anpassungen und dienen als wichtiger Baustein für die Überführung des Funktionsmusters in anschließende Anwendungs- und Validierungsphasen.

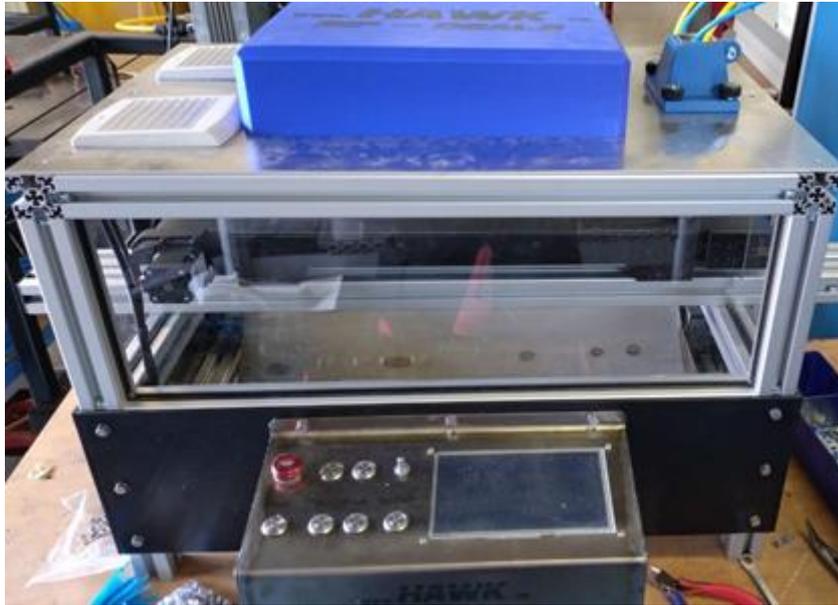


Abb. 38: Funktionsmuster-Aufbau

Die Auswertung der Ergebnisse des Funktions- und Ersttestlaufs bestätigt die erfolgreiche Implementierung und Inbetriebnahme des Funktionsmusters. In sämtlichen getesteten Bereichen konnten die vorher festgelegten Anforderungen in vollem Umfang erfüllt werden. Insbesondere überzeugten die überprüften Verbindungen und Komponenten hinsichtlich ihrer Dichtigkeit und Funktionalität. Es traten bei den durchgeführten Tests keine nennenswerten Undichtigkeiten oder Funktionsstörungen auf, sodass die Gesamtsysteme als betriebssicher und zuverlässig eingestuft werden konnten.

Der nachgelagerte initiale Sprühvorgang wurde im Rahmen des Testbetriebs besonders eingehend analysiert. Es zeigte sich, dass die Zerstäubung des Mediums – wie vorgesehen – gleichmäßig und kontrolliert erfolgte. Während des gesamten Ablaufs konnten weder Störungen im Spraybild noch unerwünschte Leckagen oder Druckverluste festgestellt werden. Die Interaktion zwischen Sprühsystem, Fördertechnik und den übrigen Systemkomponenten verlief reibungslos, was einen störungsfreien Ablauf gewährleistete.

Die erzielten Ergebnisse bestätigen somit nicht nur das schlüssige Zusammenwirken der einzelnen Module, sondern auch die Praxistauglichkeit und Robustheit des Funktionsmusters in einem realitätsnahen Umfeld. Dieses positive Testergebnis legt die Grundlage für weiterführende Anwendungen, Optimierungen sowie die Überführung des Systems in nachfolgende Validierungs- und Erprobungsphasen in praxisorientierten Szenarien.

Übergabe an die TiHo Hannover

Nach erfolgreicher Durchführung und Abschluss sämtlicher Testläufe des Funktionsmusters wurde dieses zur Nutzung an den Projektpartner TiHo übergeben. Alle relevanten Komponenten zum Betreiben des Funktionsmusters wurden ebenfalls an die TiHo übergeben, Abbildung 39.

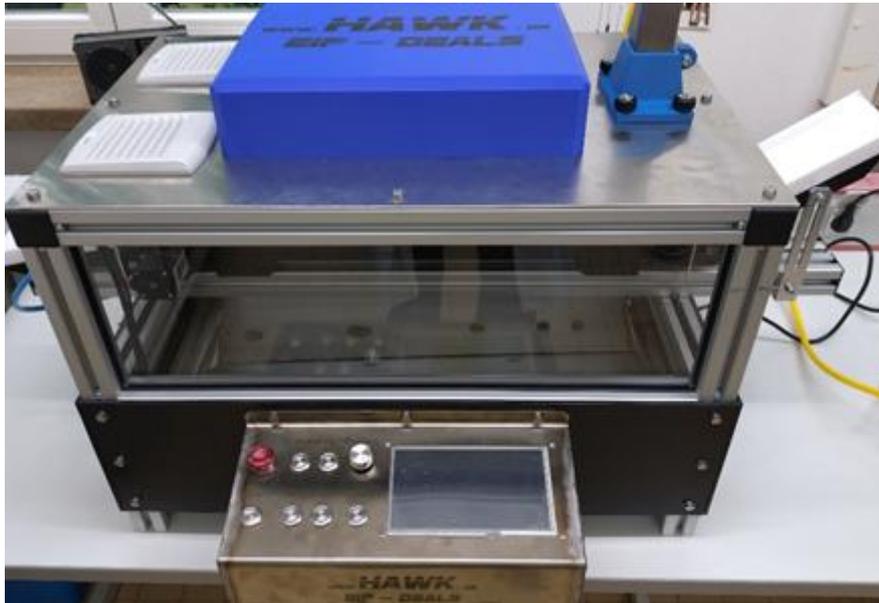


Abb. 39: Übergabe an die TiHo-Hannover

An der TiHo werden systematische und umfangreiche Versuchsreihen mit dem übergebenen Funktionsmuster durchgeführt. Im Verlauf der praktischen Versuchsdurchführungen wird erwartet, dass potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten und Optimierungsvorschläge für das Funktionsmuster identifiziert werden und dieses entsprechend optimiert werden. Die Versuchsreihen an der Tierärztlichen Hochschule Hannover ergaben zusätzliche Anforderungen:

- Exakte zentrische Positionierung des Sprühsystems oberhalb des Förderbands
- Einfachere Reinigung des Innenraums ermöglichen
- Regulierung der Lichtspaltbreite der UV-Lampe

Im folgenden Abschnitt des Berichts werden die spezifischen Defizite detailliert analysiert. Es werden sowohl die theoretischen als auch die praktischen Verbesserungen vorgestellt, die am Funktionsmuster vorgenommen wurden. Dabei fanden die Vorschläge und Wünsche der TiHo besondere Berücksichtigung.

Zentrierung des Sprühsystems

In den initialen Erprobungen des neu entwickelten Sprühsystems wurde festgestellt, dass die Anlage nicht exakt auf der zentralen X-Achse des Förderbandes positioniert ist. Diese geringfügige Abweichung von der Sollachse hatte zur Folge, dass die Verteilung der

Sprühflüssigkeit auf die zu behandelnden Schlachttierkörperteile ungleichmäßig erfolgte. Als Konsequenz dessen wurden die Teile einseitig besprüht, was sie für weiterführende und präzise Untersuchungen ungeeignet machte. Dieses beobachtete Defizit erfordert eine fundamentale Überarbeitung der technischen Konstruktion, insbesondere der Oberplatte des Systems (siehe Abb. 40). Eine vollständige Neukonstruktion ist unabdingbar, um die zentrische Ausrichtung des Sprühsystems zu gewährleisten und somit eine homogene Applikation der Besprühung auf den Schlachttierkörperteilen sicherzustellen.

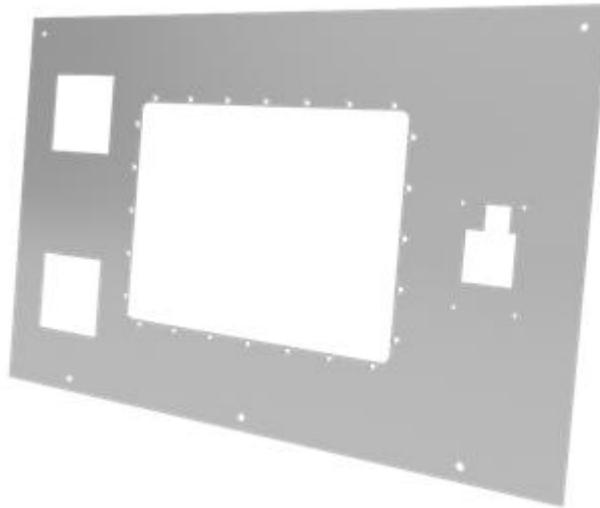


Abb. 40: Neukonstruktion-Oberplatte

Modifikation zur Verbesserung der Reinigungsfähigkeit

Die konstruktionsbedingten Herausforderungen bei der Reinigung des Innenraums des Funktionsmusters machten eine umfassende Überarbeitung des Gehäuses erforderlich. Um den Reinigungsprozess zu erleichtern, musste bisher der Oberdeckel vollständig abgeschraubt werden, was als umständlich und zeitaufwändig empfunden wurde. Daher wurde das Ziel formuliert, das Gehäuse mit einer wartungsfreundlichen Klappe auszustatten, die ohne zusätzliches Werkzeug von außen zugänglich ist (siehe Abb. 41). In einem ersten Schritt wurden die bestehenden Konstruktionsprofile und die Verkleidungsscheiben demontiert. Diese Demontage schuf die Grundlage für die erforderlichen Anpassungsarbeiten.

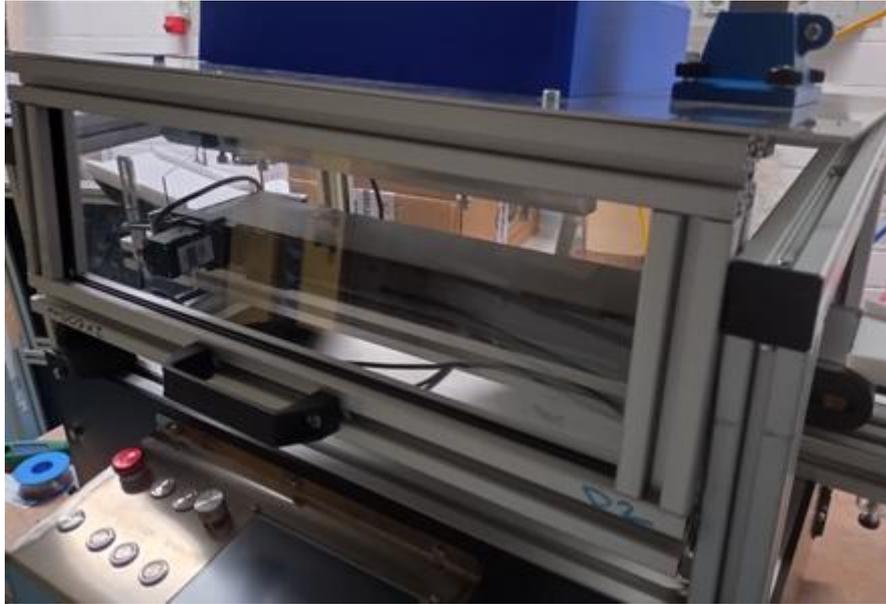


Abb. 41: Modifikation des Funktionsmusters-Wartungsklappe

Die Konstruktionsprofile wurden auf das benötigte Maß gebracht und anschließend zentrisch an der Unterseite der Oberplatte befestigt. Die Verkleidungsscheiben wurden ebenfalls passgenau zugeschnitten und mithilfe von Dichtungsprofilen in ihre Position eingefügt, um eine optimale Abdichtung und Stabilität zu gewährleisten.

Ein besonderer Fokus lag auf der ergonomischen Gestaltung der neuen Wartungsklappe. Ein speziell gestalteter Handgriff ermöglicht eine komfortable und einfache Bedienung, wodurch eine schnelle und unkomplizierte Öffnung der Klappe gewährleistet wird. Im geöffneten Zustand ruht die Wartungsklappe auf Gummipuffern im hinteren Bereich des Gehäuses. Diese Lösung reduziert Erschütterungen und sorgt gleichzeitig für eine stabile Position der Klappe, was eine effiziente und mühelose Reinigung des Innenraums ermöglicht.

Regulierung der Lichtspaltbreite

Die TiHo verfolgt das Ziel, das bestehende Funktionsmuster durch eine innovative Vorrichtung zu verbessern, die es erlaubt, die Lichtspaltenbreite der UV-Lampe präzise einzustellen. Diese Modifikation soll direkt unter der UV-Lampe und idealerweise ohne großen Aufwand realisierbar sein, um die Effizienz und den praktischen Nutzen des Geräts zu steigern. Der konzeptionelle Ansatz zur Realisierung dieser Anforderung besteht darin, zwei Aluminiumplatten so zu lagern, dass sie verschiebbar sind und gleichzeitig so nah wie möglich am Leuchtmittel der UV-Lampe positioniert werden können. Diese Anforderung stellte jedoch eine erhebliche konstruktive Herausforderung dar, da in der unmittelbaren Umgebung der UV-Lampe keine Befestigungsmöglichkeiten für die Vorrichtung vorhanden waren. Zur Überwindung dieses Hindernisses wurde eine Unterkonstruktion entwickelt, die die strukturelle Basis für die Anbringung der erforderlichen Mechanismen bietet. Auf dieser Unterkonstruktion sind zwei parallel zueinander verlaufende Führungsschienen mit Langnuten montiert (siehe Abb. 42). Innerhalb dieser Langnuten werden die Aluminiumplatten präzise geführt, sodass sie im geschlossenen Zustand einen vollständigen Lichtabschluss gewährleisten. Die Aluminiumplatten mussten mit großer Präzision gefertigt werden, um sicherzustellen, dass kein Lichtaustritt an den Stoßbereichen auftritt. Zur Fixierung der Aluminiumplatten werden

Innensechskantschrauben eingesetzt. Diese Art der Befestigung ermöglicht eine stufenlose Positionierung der Platten, was eine flexible Anpassung der Lichtspaltenbreite erlaubt und somit den spezifischen Anforderungen verschiedener Versuchsdurchführungen gerecht wird.



Abb. 42: Vorrichtung zur Regulierung der Lichtspaltbreite

Nach erfolgreicher Übergabe des modifizierten Funktionsmusters an die TiHo steht dieses zur Durchführung notwendiger Untersuchungen an Schlachttierkörperteilen bereit.

OG 3 und OG 4

Die beiden Praxisbetriebe OG 3 und 4 haben OG 1 und OG 2 das Material für die Anwendung der verschiedenen Dekontaminationsverfahren vorbereitet, dieses ggf. zugeschnitten und zur Verfügung gestellt.

Die jeweiligen Ergebnisse zur Einzel- und Kombinationsanwendung auf Schweineschwarte (OG 3) bzw. Hähnchen- und Putenhaut (OG 4) finden sich unter 2.4.3.2 Arbeitspaket A2 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Schlachttierkörpern von Schwein und Geflügel“. Die Ergebnisse auf den Matrizes „Schweine-Teilstück“ (OG 3) bzw. „Hähnchen- und Putenschnitzel“ (OG 4) sind in Abschnitt 2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“ dargestellt.

2.4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Übergeordnetes Ziel des Projektes DEALS ist die Verbesserung der niedersächsischen Zukunft im landwirtschaftlichen und ernährungswirtschaftlichen Bereich. Die Idee der kombinierten Dekontaminationsverfahren soll die Nutzbarkeit von Tierkörpern und Fleischteilstücken verbessern und somit einen innovativen Beitrag zur Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette Fleisch leisten. Bei erfolgreicher Anwendung der Kombinationsroutine

können die Verwurfszahlen der Schlachtkörper verringert und die Wettbewerbsfähigkeit der nach wie vor in Niedersachsen sehr starken Produktionssparten Schweine- und Geflügelfleisch gestärkt werden.

Durch den Aufbau der OG mit zwei Praxisbetrieben (regional und überregional aktiv) und zwei Forschungseinrichtungen, die alle in Niedersachsen angesiedelt sind, ist die Möglichkeit für eine Problem-orientierte Ausführung des Projektes mit schnellem Transfer der Erkenntnisse in die Betriebe gegeben.

Zum Abschluss der Projektphase ist insbesondere der Vorteil der Einbindung der beiden Schlachtbetriebe in die Planung und Durchführung zu betonen. Bei innovativen Verfahren ist nicht zwingend mit einer erfolgreichen Umsetzung des gesamten Forschungsansatzes zu rechnen. Umso wichtiger ist es hier, den Austausch zwischen kleinen und großen Unternehmen und den Forschungseinrichtungen zu nutzen, um eine angepasste Ausrichtung der Untersuchungen vornehmen zu können. Die Ergebnisse der im Projekt DEALS durchgeführten Analysen lassen das Potenzial verschiedener Dekontaminationsverfahren erkennen. Dennoch wurde bisher keine in die Praxis-transferierbare Anwendungsroutine entwickelt, die unmittelbar einsetzbar wäre. Der Einsatz von Starterkulturen als biotechnologisches Wirkprinzip hat sich als herausfordernd herausgestellt und muss in anderer Form vertieft werden. Auch das Potenzial des Einsatzes von PAW – nicht zuletzt als Beitrag zur Antibiotika-Minimierungsstrategie - ist erst in den Anfängen untersucht und sollte auch in Kombination in weiteren Projektansätzen weiter evaluiert werden. Vor dem Hintergrund der mit der zunehmenden Weltbevölkerung weiter wachsenden Lücke in der Proteinversorgung sind neuartige, bislang noch nicht vollständig aufgeklärte Verfahren von besonderer Relevanz, die zukünftig auch im Lebensmittelkontext Einsatz finden könnten. Dennoch ist immer zu beachten, dass auch die Bedürfnisse der anderen Teilnehmer in diesem Zusammenhang - dem Lebensmitteleinzelhandel, den Konsumenten – nicht vernachlässigt werden dürfen. Das Ziel muss ein verantwortungsvoller Umgang mit den wertvollen, regional erzeugten Ressourcen sein, um eine gesunde und sichere Ernährung zu ermöglichen.

2.4.5 Nebenergebnisse

Für OG 1 konnten unter Berücksichtigung der ursprünglichen Antragsstellung durch die Neuausrichtung in den APs A1 und A3 neue Erkenntnisse über die Wirkung von Starterkulturen während einer Lagerung von 7 Tagen ermittelt werden. Diese war im ursprünglichen Antrag nicht vorgesehen, wurden aber aufgrund der nicht erwarteten schlechteren Wirkung der Starterkulturen angefügt, um eine mögliche Wirksamkeit zu erzielen und erkennbar zu machen. Genauere Details sind in den Abschnitten 2.4.3.1 Arbeitspaket A1 „In-vitro Studien zur Anzucht und Keimreduktion an ausgewählten Mikroorganismen“ und 2.4.3.3 Arbeitspaket A3 „Evaluation der alternativen Dekontaminationsverfahren an Fleisch (Teilstücken) von Schwein, Broiler und Pute“ dargestellt.

Im Rahmen der Arbeiten an der HAWK konnten neue Erkenntnisse und Erfahrungen hinsichtlich der Methode der Applikation von PAW auf biologischem Gewebe und der daraus folgenden Implikationen, wie beispielsweise die Verstopfung der Kanülen bei Verwendung des TRIS-Puffers oder Erfahrungen hinsichtlich des verwendeten Materials aufgrund der korrosiven Eigenschaften von PAW gewonnen werden. Darüber hinaus konnte durch iterative Optimierungsprozesse eine Methode zur homogenen und kontrollierten Applikation von PAW

etabliert werden (siehe hierzu insbesondere 2.4.3.4 Arbeitspaket B1 „Entwicklung, Fertigung und Parametrisierung PAW-Erzeuger und EWNS-System und 2.4.3.5 Arbeitspaket B2 „Entwicklung Applikationsform der Dekontaminationsverfahren zum Einsatz im Sprühkabinett“). Diese Methode ermöglichte nicht nur eine gleichmäßige Verteilung des Aktivmediums auf dem Gewebe, sondern erlaubte auch eine präzisere Dosierung und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Die Standardisierung dieses Verfahrens stellt eine wichtige Grundlage für weiterführende vergleichende und quantifizierende Studien dar.

Insgesamt tragen die gewonnenen Nebenergebnisse somit signifikant zur Weiterentwicklung der Methodik in der Anwendung von PAW auf biologischem Gewebe bei und legen die Basis für weiterführende experimentelle und technische Arbeiten.

Bei den Praxisbetrieben (OG 3 und 4) wurden keine Nebenergebnisse gewonnen.

2.4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung/ zu keinem Ergebnis geführt haben

OG 1

Innerhalb der Arbeitspakete des OG-Partners 1 wurden der überwiegende Teil der geplanten Arbeiten erfolgreich abgeschlossen. Bei den Versuchen zum Einsatz der Starterkulturen als Konkurrenzflora kam es jedoch zu Verzögerung im Projektverlauf, die auch nicht unter Variation der Methodik erfolgreich umgesetzt werden konnten. Aus diesem Grund wurde auf die Applikation von Starterkulturen verzichtet und als zeitliche Kompensation wurde auf die zu Einzelbehandlungen von Putenhaut und -fleisch mit PAW verzichtet. Es kann insofern nur vermutet werden, dass sich auch bei der PAW-Einzelbehandlung der Pute ein ähnliches Bild wie beim Hähnchen zeigt. Grundlage hierfür sind die vergleichbaren Ergebnisse der UV-C-Behandlungen beider Geflügelspezies.

OG 3 und 4

Die beiden Schlachtbetriebe (OG 3 und 4) haben im Rahmen Ihrer Aufgaben alle Arbeiten wie vorgesehen erledigen können. Es gibt keine Arbeiten, die zu keinem Ergebnis geführt haben. Abweichungen in der Anwendung der Dekontaminationsverfahren wurden bei OG-Partner 1 und 2 vorgestellt.

Insgesamt ist die Umsetzung der innovativen Kombinationsidee mit verschiedenen Dekontaminationsverfahren als erfolgreich zu bezeichnen. Unabhängig davon bestehen mehrere Anschlussmöglichkeiten für vertiefende Forschungsprojekte, die aus den gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet werden können (s. 2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit).

2.4.7 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Die TiHo hat als OG 1 einen Kompressor zum Betrieb des Funktionsmusters erworben. Der Einsatz beschränkt sich daher auf die Anwendung im Projekt DEALS und die Kooperation mit der HAWK. Die im Rahmen des Projekts von OG 2 beschafften Investitionsgüter wurden ausschließlich projektbezogen eingesetzt und sind auf die spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen des Vorhabens ausgelegt. Eine weiterführende Nutzung außerhalb des

Projektkontexts ist nicht vorgesehen und aufgrund der speziellen Anpassungen sowie der funktionalen Ausrichtung der Komponenten nicht umsetzbar.

Für OG-Partner 3 und 4 wurden keine Investitionskosten verausgabt.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die Untersuchungen im Projekt DEALS besitzen einen hohen innovativen Charakter, da die Anwendung insbesondere von PAW auf Lebensmitteln bisher nicht zugelassen ist. Die Erkenntnisse machen deutlich, dass die behandelte Matrix einen entscheidenden Einfluss auf die mikrobizide Wirkung des PAWs hat. Hier zeigten sich im Allgemeinen auf der Haut stärkere Reduktionen als auf dem Fleisch. Beim DEALS-Symposium konnten einer breiten Zuhörerschaft bereits die Versuchsabläufe, mögliche Einflussfaktoren und die Erkenntnisse aus den durchgeführten Versuchen vermittelt werden. Interesse zeigten hier sowohl Tierärzte aus dem Bereich der Lebensmittelüberwachung, als auch Personenkreise aus Schlachtbetrieben. Die niederschwellige Kombination im Sinne des Hürdenkonzeptes macht die Idee insgesamt für alle produzierenden Gewerbe interessant, da am Ende neben der Verbrauchersicherheit immer auch die Verbraucherakzeptanz der Produkte entscheidend für den Absatz der erzeugten Lebensmittel ist. Über die reinen Ergebnisse des Projektes hinaus gedacht, ist sowohl der kombinierte Ansatz, als auch der Einsatz von PAW an sich im Lebensmittelbereich eine spannende Innovation, die weiterverfolgt werden sollte. Anwendungen zur Oberflächendekontamination oder von Gerätschaften eröffnen ein breites praktisches Einsatzfeld, das nach und nach evaluiert werden wird.

Eine abgeschlossene Methodik zur Anwendung der kombinierten Dekontamination mit den berücksichtigten Verfahren kann noch nicht zur Verfügung gestellt werden.

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Einzelanwendungen von UV-C-Behandlung, PAW und Starterkulturen bieten wichtige Erkenntnisse hinsichtlich des zukünftigen Einsatzes dieser Methoden in der Dekontamination von Schlachtierkörperoberflächen und Fleischteilstücken.

Es haben sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Methoden, zwischen den Matrizes Tierkörperoberfläche und Fleisch und auch zwischen den Tierarten (Schwein bzw. Geflügel) gezeigt. Die Kombinationsbehandlung bietet in der aktuellen Versuchskonstellation keinen Vorteil gegenüber der Einzelanwendung, was eine gute Basis für zukünftige Modifikationen der Anwendungsroutine darstellt. Es ist bereits in Planung, die bisherige Kombinationsbehandlung (ebenso wie die Einzelbehandlung) auch auf Rindfleisch auszuprobieren, um hier die übliche Palette der in Deutschland konsumierten Tierarten abzudecken.

Die Anwendung von Starterkulturen hat sich in diesem Projekt nicht bewährt, hier kann sowohl die Applikationsform, als auch die Art der verwendeten Mikroorganismen variiert werden.

Ein Wechsel der Reihenfolge kann ebenfalls ein wichtiger Gamechanger sein – wird PAW vor UV-C angewendet, könnte die Energie der UV-C-Strahlen zu einer Verstärkung des Effektes der radikalen Spezies im PAW führen.

Es ist demnach vorgesehen, die Anwendung im Zusammenhang mit tierischen Lebensmitteln weiter zu verfolgen, um den ursprünglichen Gedanken der Nutzbarmachung von wichtigen tierischen Proteinen weiter zu erhalten.

Darüber hinaus ist die Anwendung auf anderen Materialien, beispielsweise den Oberflächen im Bereich der Schlachthöfe oder auch anderer Lebensmittel-verarbeitenden Betriebe, sehr gut vorstellbar. Werkzeuge und Maschinen könnten hier ebenfalls von der dekontaminierenden Wirkung insbesondere des innovativen PAWs profitieren.

Abschließend lässt sich sagen, dass die neuen Erkenntnisse zum Einsatz von PAW in Einzel- und Kombinationsbehandlung einen wichtigen Grundstein zur zukünftigen Verwendung dieser innovativen Dekontaminationsmethode geliefert haben, die in vielen Bereichen noch weiter erforscht werden darf.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus wissenschaftlicher Sicht bieten sich vielfältige, aussichtsreiche und relevante Anschlussmöglichkeiten, insbesondere für den innovativen Einsatz der Plasmatechnologie im Bereich der Lebensmittel-verarbeitenden Betriebe. Ob auf den Lebensmitteln selber, ob auf den Kontaktflächen oder im Rahmen der Anwendung zur Gerätereinigung oder Personalhygiene (z.B. Hand- oder Luftreinigung), sind im experimentellen Bereich zunächst kaum Grenzen gesetzt. Als Beitrag zu nachhaltiger Erzeugung von Lebensmitteln mit der gewohnten hygienischen Qualität bei gewährleisteter Lebensmittelsicherheit sind sowohl das mikrobizide Potenzial des PAWs alleine und in Kombination, als auch die sensorische Auswirkung auf die Produkte und nicht zuletzt die Verträglichkeit im Rahmen von Toxizitätsstudien usw. von Relevanz. Lagerungsstudien, ökonomische Berechnungen und Befragungen zur Verbraucherakzeptanz stehen ebenfalls bevor.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind zukünftig ebenfalls einige Anschlussmöglichkeiten gegeben. Es ist jedoch zu empfehlen, zunächst in weiteren wissenschaftlichen Studien eine Dekontaminationsroutine zu entwickeln, die sowohl technologischen, als auch sensorischen und insbesondere den hygienischen Aspekten der Lebensmittelsicherheit entsprechen. Hierauf basierend sollten dann Bewertungen zur Wirtschaftlichkeit und entsprechenden ökonomischen Einflussfaktoren bzw. Stellschrauben vorgenommen werden.

Ein Umdenken in der Erzeugung nachhaltiger, umweltbewusster, sicherer und dennoch innovativer Lebensmittel ist in der Zukunft zu erwarten, sodass hier insgesamt ein hohes Potenzial für die Anschlussfähigkeit an die Projekterkenntnisse gesehen wird.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Das Projekt DEALS setzt auf ein mehrschichtiges Konzept zur Bekanntmachung und Verbreitung der Ergebnisse.

Innerhalb der OG-Mitglieder erfolgten die Absprachen u.a. in monatlichen Online-Meetings, aber auch in jährlichen Projekttreffen. Neue Ergebnisse aus den Versuchsreihen wurden zwischen den Mitgliedern auf kurzem Wege besprochen.

Während der Projektlaufzeit durfte sich die OG 2023, 2024 und 2025 auf dem Gartenfest beim Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz präsentieren. Dort wurden nicht nur das Funktionsmodell, sondern auch Ergebnisse aus den laufenden Untersuchungen und vom Vorgänger-EIP-Projekt vorgestellt.

Zum Abschluss des Projektes fand am 08. Mai 2025 im Institut für Lebensmittelqualität und -sicherheit ein Symposium mit 70 Teilnehmenden statt. In der halbtägigen Veranstaltung wurde nicht nur in die allgemeinen Hygienebedingungen in Schlachtbetrieben (Schwein und Geflügel) eingeführt, sondern auch die verfügbaren Dekontaminationsverfahren vorgestellt. Neben den herkömmlichen Verfahren gab es u.a. auch Einblicke in die Möglichkeiten der Plasmatechnologie, die einen zentralen innovativen Aspekt im Projekt DEALS ausmacht. Die Projektergebnisse selbst wurden ebenso präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen nationaler und internationaler Publikationen ist vorgesehen und in Vorbereitung.

Bei der 64. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz am 24. – 27. September 2024 in Garmisch-Partenkirchen konnten Projektergebnisse präsentiert werden. Eine Vorstellung in 2025 bei der 65. Arbeitstagung ist vorgesehen.

Für die Verbreitung der Ergebnisse und Durchführung des Projektes wurden unterschiedliche Kommunikationswege genutzt, so wurden (und werden) das Projekt und dessen Ergebnisse beispielsweise im Rahmen von Zeitungsartikeln, Social-Media-Kanälen und o.g. Tagungen bzw. Kongressen vorgestellt:

- **LinkedIn** (Profil: Bernd Schieche, Beitrag zum Symposium am 08. Mai 2025)

- **Homepages der OG-Partner (1-3)**
 - <https://www.tiho-hannover.de/kliniken-institute/institute/institut-fuer-lebensmittelqualitaet-und-sicherheit/forschung/eip-agri-deals>
 - <https://www.hawk.de/de/forschung/forschungsprojekte/dekontamination-mit-alternativen-methoden-als-huerdenkonzept-schlachttierkoerpern-und-teilstuecken>
 - <https://phw-gruppe.de/einfache-sprache/nachhaltigkeit/>

- **64. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz** in Garmisch-Partenkirchen, 24. bis 27. September 2024
 - Dr. Vanessa Große-Peclum; Vortrag „Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept: Die Wirksamkeit von UV-C-Bestrahlung auf mikrobiell kontaminierte Schweine- und Geflügelhaut“

- **65. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz** in Garmisch-Partenkirchen, 23. bis 26. September 2025
 - Dr. Vanessa Große-Peclum; Poster „Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept: Die kombinierte Wirksamkeit von Plasma-aktiviertem Wasser und UV-C-Bestrahlung auf mikrobiell kontaminierten Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein und Broiler“

- **DEALS-Abschluss-symposium** am 08. Mai 2025
 - EIP-Projekt „DEALS – Dekontamination mit alternativen Methoden als Hürdenkonzept an Schlachttierkörpern und Teilstücken von Schwein, Broiler und Pute“, Dr. Lisa Siekmann
 - „Präsentation der Ergebnisse: Einzel- und Kombinationsbehandlungen von Schlachttierkörpern und Fleischteilstücken“, Dr. Vanessa Große-Peclum
 - „Präsentation der Ergebnisse: Potentielle Optionen für ein Upscaling – Anwendung im Geflügel- und Schweineschlachtbetrieb und in der Zerlegung“, Dr. Georg Avramidis und Christian Ochs

- **Plasma-for-Life-Symposium**, Impulsvortrag am 12. September 2024
 - „Der Einsatz von plasma-aktiviertem Wasser in der Tiermedizin“, Prof. Dr. Madeleine Plötz

- **Plasma-for-Life-Symposium**, BO -Session „Plasma-Hygiene“ am 17. September 2025
 - „PAW entlang der Lebensmittelkette“, Prof. Dr. Madeleine Plötz

- **EIP-Gartenfest** 13. September 2023
 - Präsentation des Vorläufer-Projektes PlaWaKiRi, Ankündigung zu DEALS

- **EIP-Gartenfest** 13. August 2024
 - Demonstration des Funktionsmusters

- **EIP-Gartenfest** am 11. Juni 2025
 - Demonstration des Funktionsmusters, Berichte zum Symposium, Flyer mit Ergebnissen

Der Abschlussbericht wird auf der EIP-Webseite eingestellt.

Die Publikation der Ergebnisse in nationalen und vorrangig internationalen Journals ist für die Zukunft geplant.

Zum Symposium als Projektabschluss wurde über unterschiedliche Medien geladen, es wurden neben dem EIP-Netzwerk selbst auch Anzeigen im Tierärzteblatt und beim Bundesverband der beamteten Tierärzte e.V. (BbT) geschaltet. Auf der Seite der Akademie für tierärztliche Fortbildung (ATF) der Bundestierärztekammer wurde ebenfalls auf die Veranstaltung aufmerksam gemacht und alle OG-Partner haben über verfügbare Medien (E-Mail-Verteiler, persönliche Kontakte, Social Media, Aufhänge etc.) Werbung gemacht. Hierdurch konnten explizit relevante Zielgruppen aus dem Bereich des Ingenieurwesens, der Tiermedizin, des Lebensmittel- und Gesundheitswesens, sowie der Agrarwirtschaft adressiert werden. Zusätzlich stand die Veranstaltung auch Studierenden der Tiermedizin offen. Die Veranstaltung wurde von etwa 80 Personen mit unterschiedlichem beruflichem Hintergrund aus unterschiedlichen Bundesländern besucht.

Insgesamt wurde somit das Ziel, die Erkenntnisse sowohl regional, als auch überregional zugänglich zu machen, gut erreicht. Sowohl die Tierhalter (Primärproduktion), als auch auf der nachgeschalteten Verarbeitungsstufe (Schlachthöfe inkl. Zerlegung) hatten die Gelegenheit, sich mit den neueren Überlegungen im Rahmen der Haltbarmachung von Lebensmitteln vertraut zu machen.

Bisher ist der Eindruck entstanden, dass eher Fachkollegen aus dem technischen bzw. Lebensmittel-assoziierten Bereich Interesse haben. Für die Konsumierenden selbst sind die innovativen Ansätze möglicherweise noch zu weit von einem Praxiseinsatz entfernt. Dennoch bietet die Struktur der OGs in EIP-Projekten eine hervorragende Basis für die Vernetzung von Wissenschaft und Praxis, die nicht nur ein Betriebs-nahes Bearbeiten der Themen, sondern auch den Transfer innovativer Methoden in die Praxis erleichtert.

Anhänge

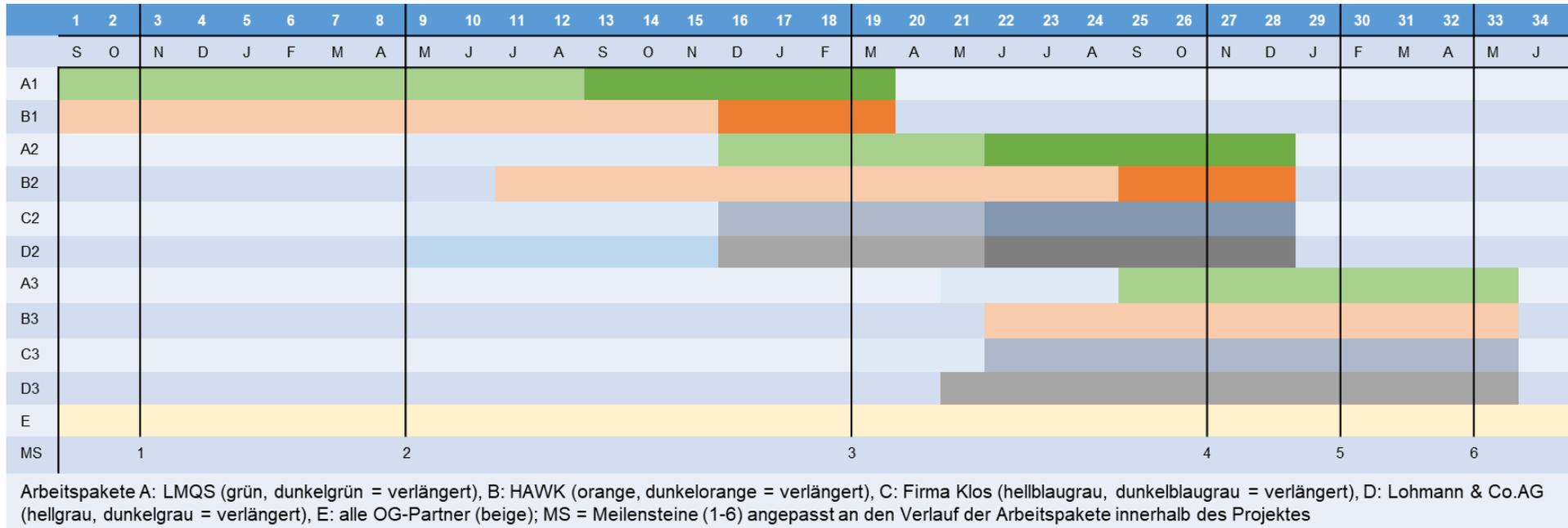
Anhang 1: Ausschnitt des Balkenplans zum Projektantrag

Anhang 2: Meilensteine (MS)

Anhang 3: Sensorik-Fragebogen

Anhang 4: Referenzen

Anhang 1: Ausschnitt des Balkenplans zum Projektantrag



Stand vom 30. Juni 2023

Anhang 2: Meilensteine (MS)

Meilensteine	Beendigung des MS	Durchzuführende Arbeiten
1. MS	Nach 2 Mon. Projektlaufzeit	Studium des Projektantrages, Literaturrecherche
		erste Einarbeitungen in die vorgesehenen Labormethoden
		Austausch zwischen den OG-Partnern
2. MS	Nach 8 Mon. Projektlaufzeit	Anzuchtprotokolle überarbeitet bzw. angepasst
		Vorversuche zur UV-C Applikation
		Vorversuche zur Anwendung von Starterkulturen
		Vorversuche zur PAW- bzw. EWNS-Erzeugung abgeschlossen
		Auswahl unter bestehenden Anlagen zur PAW/ENWS-Erzeugung ist erfolgt
3. MS	Nach 18 Mon. Projektlaufzeit	Abstimmung und Beratung aller OG-Partner über die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen bezüglich der verschiedenen Tierarten und der Schlachttechnologie
		Evaluation der Kombinationen der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden auf den Schlachtkörperoberflächen
		Abstimmung über die Anwendung der UV-C-Behandlungen der Proben. Parametrisierung der UV-C-Quellen weitgehend abgeschlossen

4. MS	Nach 26 Mon. Projektlaufzeit	Laufender Austausch Labormuster zur PAW/ENWS-Erzeugung steht zur Verfügung
		Methodenentwicklung simulierte Kontamination begonnen.
		Versuche zur Kombinationsbehandlung der Dekontaminationsmethoden
5. MS	Nach 29 Mon. Projektlaufzeit	Evaluation der Keimreduktion für die Kombinationen der unterschiedlichen Dekontaminationsmethoden abgeschlossen
		Applikationssystem für PAW-ENWS entwickelt. Methodenentwicklung simulierte Kontamination abgeschlossen
		Versuche zur Applikationsreihenfolge (UV-C, PAW/ENWS, Starterkulturen) begonnen
		Austausch über die Erfordernisse im Bereich der Zerlegung und Bereitstellung von Teilstücken
6. MS	Nach 32 Mon. Projektlaufzeit	Versuche zur Applikationsreihenfolge abgeschlossen.
		Entwicklung von Methoden zur simulierten Kontamination von Fleischteilstücken ist fortgeschritten
		Entwicklung/Konstruktion Fertigung des Applikationssystems (kombiniert die verschiedenen Dekontaminationsverfahren) zu einem „Sprüh- und Bestrahlungskabinett“
		Sensorische Untersuchungen und Farbmessungen von Fleisch nach Dekontamination durchgeführt. Anwendungstest des Applikationssystems am Schlachttierkörper unter Realbedingungen abgeschlossen
		Publikationen in Erstellung/Reviewprozess oder bereits veröffentlicht, Tätigkeiten zur Öffentlichkeitsarbeit (z.B. Messepräsentation etc.) sind erfolgt

Anhang 3: Sensorik-Fragebogen

DIE SENSORISCHE PRÜFUNG

Durchgang 1 – Gruppe 1

DIE RANGORDNUNGSPRÜFUNG

Datum: _____

Namen: _____

In der folgenden Rangordnungsprüfung sollen die Proben in der Reihenfolge der zunehmenden Intensität des jeweiligen Kriteriums geordnet werden. Bitte bewerten tragen die jeweiligen Zahlencodes, die sich auf dem Teller jeder Probe befinden, in Ihrer Ordnung in die Kästchen ein. **Die Proben sind nicht für den Verzehr geeignet!**

Hinweis Kommentarfeld: Zur Erläuterung bei Proben, die sich Ihrer Meinung nach auf demselben Rang befinden oder bei besonderen Auffälligkeiten.

1. Geruch:

Methodik: Führen Sie den Teller zur Nase und schnupfern Sie mehrfach an der Probe (3 – 5 x kurz einatmen, ggf. auch wiederholen).

a. Fleischgeruch:

Bitte ordnen Sie die Proben nach zunehmender Intensität des Fleischgeruchs.

am wenigsten intensiv riechend —————> am intensivsten riechend

--	--	--	--

Kommentar:

b. Geruch nach Ozon:

Bitte ordnen Sie die Proben nach zunehmender Intensität des Ozon-Geruchs.

am wenigsten intensiv riechend —————> am intensivsten riechend

--	--	--	--

Kommentar:

2. Aussehen

Methodik: Bitte betrachten Sie die Oberseite der Proben. Bewerten Sie den Gesamteindruck der Oberfläche.

a. Feuchtigkeit:

Bitte ordnen Sie die Proben visuell nach zunehmender Feuchtigkeit.

am wenigsten feucht ▶ am meisten feucht

--	--	--	--

Kommentar:

b. Oberflächenspiegelung:

Bitte ordnen Sie die Proben visuell nach zunehmender Oberflächenspiegelung.

am wenigsten spiegelnd ▶ am meisten spiegelnd

--	--	--	--

Kommentar:

c. Trockenheit der Ränder:

Bitte ordnen Sie die Proben visuell nach zunehmender Trockenheit der Ränder.

am wenigsten trocken —————> am meisten trocken

--	--	--	--

Kommentar:

d. Gesamteindruck:

Bitte ordnen Sie die Proben visuell nach verändertem Gesamteindruck.

am wenigsten verändert —————> am meisten verändert

--	--	--	--

Kommentar:

Anhang 4: Referenzen

- Abel, T. (2020). Niedrigtemperaturgaren von Wildfleisch - Einfluss auf Lebensmittelsicherheit und Produktqualität. https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00001274
- Avramidis, G.; Stüwe, B.; Richard, W.; Bellmann, M.; Stephan, W.; von Tiedemann, A.; Viöl, W. (2010). Fungicidal effects of an atmospheric pressure gas discharge and degradation mechanisms. *Surf. Coat. Technol.*, 205, 405–408.
- Bechstein, D.-V., Popp, J., Sudhaus-Joern, N., & Krischek, C. (2019). Effect of ethyl-lauroyl-arginate hypochloride in combination with high hydrostatic pressure processing on the microbial load and physico-chemical characteristics of minced and portioned chicken breast meat. *Poultry Science*, 98(2), 966–976. <https://doi.org/10.3382/ps/pey427>
- Bertram, R. (2019a). Verbesserung des Hygienestatus und der Haltbarkeit von Geflügelfleisch durch Einsatz von Peroxyessigsäure zur Reduktion von *Campylobacter* spp. https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00000197
- Bertram, R., Kehrenberg, C., Seinige, D., & Krischek, C. (2019b). Peracetic acid reduces *Campylobacter* spp. numbers and total viable counts on broiler breast muscle and drumstick skins during modified atmosphere package storage. *Poultry Science*, 98(10), 5064–5073. <https://doi.org/10.3382/ps/pez266>
- Bertram, R., Kehrenberg, C., Seinige, D., & Krischek, C. (2019c). Peracetic acid reduces *Campylobacter* spp. on turkey skin: effects of a spray treatment on microbial load, sensory and meat quality during storage. *PLOS ONE*, 14(7: e0220296).
- Barjasteh, A.; Dehghani, Z.; Lamichhane, P.; Kaushik, N.; Choi, E.H.; Kaushik, N.K. (2021). Recent Progress in Applications of Non-Thermal Plasma for Water Purification, Bio-Sterilization, and Decontamination. *Applied Sciences*, 11, 3372.
- Carneiro, KO., Campos, GZ., Lima, JMS, Rocha, RD., Vaz-Velho, M. und SD. Todorov (2024): The role of lactic acid bacteria in meat products, not just as starter cultures. *FOODS* 13 (19). DOI10.3390/foods13193170
- Europäische Kommission (2013). Verordnung (EU) Nr. 101/2013 der Kommission vom 4. Februar 2013 über die Verwendung von Milchsäure zur Verringerung mikrobiologischer Oberflächenverunreinigungen von Rinderschlachtkörpern.
- Europäische Kommission (2004). Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs. Konsolidierte Fassung vom 01.01.2021.
- Große-Peclum, V., Siekmann, L., Krischek, C., Avramidis, G., Ochs, C., Viöl, W. und M. Plötz (2023): Using TRIS-buffered plasma-activated water to reduce pathogenic microorganisms on poultry carcasses with evaluation of physicochemical and sensory parameters. *FOODS* 12 (5). DOI10.3390/foods12051113
- Haertel, B.; Woedtke, T. von; Weltmann, K.-D; & Lindequist, U. (2014). Non-thermal atmospheric-pressure plasma possible application in wound healing. *Biomolecules & Therapeutics*, 22(6), 477-490.
- Helmke, A.; Wandke, D.; Mahmoodzada, M.; Weltmann, K.-D. & Viöl, W. (2013). Impact of Electrode Design, Supply Voltage and Interelectrode Distance on Safety Aspects and Characteristics of a Medical DBD, Plasma Source, Contributions to Plasma Physics, Jg. 53, Nr. 9, S. 623–638.

- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Le Monde Diplomatie (2021). Fleischatlas 2021. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel. 1. Auflage, ISBN 978-3-86928-224-4.
- Kim, P.Y.; Kim, Y.-S.; Koo, I. G.; Jung J. C.; Kim, G.J.; Choi, M.Y.; Yu Z. & Collins, G.J. (2011). Bacterial inactivation of wound infection in a human skin model by liquid-phase discharge plasma. *PLoS ONE* 6(8): e24104. doi:10.1371/journal.pone.024104
- Koller, V.L. (2021). Untersuchungen von kombinierten Dekontaminationsmethoden zur Reduktion von pathogenen Mikroorganismen und zur Verlängerung der Haltbarkeit von frischem Hähnchen- und Schweinefleisch. https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00004822
- Lis, K.A.; Kehrenberg, C.; Boulaaba, A.; Köckritz-Blickwede, M. von; Binder, S.; Li, Y.; Zimmermann, J.L.; Pfeifer, Y.; Ahlfeld, B. (2018a). Inactivation of multidrug-resistant pathogens and *Yersinia enterocolitica* with cold atmospheric-pressure plasma on stainless-steel surfaces. *Int. J. Antimicrob. Agents*, 52, 811–818, doi:10.1016/j.ijantimicag.2018.08.023.
- Lis, K.A.; Boulaaba, A.; Binder, S.; Li, Y.; Kehrenberg, C.; Zimmermann, J.L.; Klein, G.; Ahlfeld, B (2018b). Inactivation of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* on ham with nonthermal atmospheric pressure plasma. *PLoS ONE*, 13, e0197773, doi:10.1371/journal.pone.0197773.
- Mai-Prochnow, A.; Zhou, R.; Zhang, T.; Ostrikov, K.; Mugunthan, S.; Rice, S.; Cullen, P.J. (2021). Interactions of plasma-activated water with biofilms: inactivation, dispersal effects and mechanisms of action. *Biofilms and Microbiomes* 7:11.
- Pyrgiotakis, G.; Vasanthakumar, A.; Gao, Y.; Eleftheriadou, M.; Toledo, E.; DeAraujo, A.; McDevitt, J.; Han, T.; Mainelis, G.; Mitchell, R.; Demokritou, P. (2015). Inactivation of Foodborne Microorganisms Using Engineered Water Nanostructures (EWNS), *Environ. Sci. Technol.*, 49, 6, 3737–3745
- Reichel, J. (2020a). Einfluss einer Behandlung mit UV-C-Licht auf mikrobiologische und physikochemische Veränderungen von Schweinefleisch und Lachsschinken. https://elib.tiho-hannover.de/receive/tiho_mods_00001273
- Reichel, J., Kehrenberg, C., & Krischek, C. (2020b). UV-C irradiation of rolled fillets of ham inoculated with *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta*. *Foods: Open Access Journal*, 9(5: 552). <https://doi.org/10.3390/foods9050552>
- Reichel, J., Kehrenberg, C., & Krischek, C. (2019). Inactivation of *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta* on pork by UV-C irradiation. *Meat Science*, 158:107909. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107909>
- Robert Koch Institut (RKI) (2020). Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2019.
- Siekmann, L., Meier-Dinkel, L., Janisch, S., Altmann, B., Kaltwasser, C., Sürrie, C., & Krischek, C. (2018). Carcass quality, meat quality and sensory properties of the dual-purpose chicken Lohmann Dual. *Foods: Open Access Journal*, 7(10: 156). <https://doi.org/10.3390/foods7100156>
- Simsek, Ö.; Hilmi Con, A.; Tulumoglu, S. (2006). Isolating lactic starter cultures with antimicrobial activity for sourdough process. *Food Control*, 17, 163-270.
- Song, K., Mohseni, M. and F. Taghipour (2016): Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review. *WATER RESEARCH* 94. DOI10.1016/j.watres.2016.03.003
- Ten Bosch, L.; Köhler, R.; Ortmann, R.; Wieneke, S.; Viöl, W. (2017). Insecticidal Effects of Plasma Treated Water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1460.

- Ten Bosch, L.; Pfohl, K.; Avramidis, G.; Wieneke, S.; Viol, W.; Karlovsky, P. (2017) Plasma-Based Degradation of Mycotoxins Produced by *Fusarium*, *Aspergillus* and *Alternaria* Species. *Toxins*, 9, 97.
- Thirumdas, R.; Kothakota, A.; Annapure, U.; Siliveru, K.; Blundell, R.; Gatt, R.; Valdramidis; V.P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture, *Trends in Food Science & Technology*, 77, 21-31.
- Wang, Q., Salvi D. (2021). Recent progress in the application of plasma-activated water (PAW) for food decontamination. *Current Opinion in Food Science*, 42, 51-60.
- Zhou, R. et al. (2020). Plasma-activated water: generation, origin of reactive species and biological applications. *Journal of Physics D* 53, 303001.