Gemeinnützige Lebensmittelinitiative für Österreich

CLEANER MEAT

Nitrit- und Salzreduktion in Fleisch- und Wurstwaren

2022-2025

DISSEMINATIONSPAPIER und LEITFADEN

Ein gefördertes Projekt der

FFG Forschung wirkt.

in Kooperation mit

HYGIENICUM Mitglied der GBAGROUP

Staudinger & Partner

INNOV8

CAMPUS WIESELBURG FH WIENER NEUSTADT Marketing & Sustainable Innovation

Dieses Projekt wurde durch Mittel der FFG gefördert und im Rahmen der Initiative „Collective Research“ durchgeführt.

Kurzfassung

Das Projekt „Cleaner Meat" widmete sich über drei Forschungsjahre der dringenden Herausforderung, den Gehalt an Salz und Nitritpökelsalz (NPS) in Fleisch- und Wurstwaren zu reduzieren. Angesichts gesundheitlicher Bedenken (Bluthochdruck durch Salz, potenzielle Nitrosaminbildung durch Nitrit) und neuer regulatorischer Vorgaben, wie dem EU-Zielwert von 80 mg/kg NO_2-Ionen für Nitrit, war das übergeordnete Ziel, praktikable Reduktionsstrategien zu entwickeln, die weder die Lebensmittelsicherheit noch die sensorische Akzeptanz beeinträchtigen.

Methodischer Ansatz

Mittels eines umfassenden Ansatzes, der Differentialanalysen, detaillierte Challenge- und Stresstests sowie umfangreiche sensorische Konsument*innen-Tests (Home-Use und Labor) umfasste, wurden verschiedene Produktkategorien – darunter Rohwürste, Brühwürste, Dauerwürste und Großkaliberprodukte – systematisch untersucht. Parallel dazu erfolgte eine tiefgehende Bewertung potenzieller Salz- und Nitrit-Alternativen unter Berücksichtigung ihrer technologischen Wirksamkeit und rechtlichen Einordnung.

Zentrale Ergebnisse

- **Reduktionspotenziale:** Das Projekt konnte eindrucksvoll belegen, dass eine signifikante Reduktion von Salz (bis zu 25 %) und Nitrit (bis zu 40 mg/kg NO_2-Ionen, was 50 % des neuen gesetzlichen Zielwerts entspricht) in vielen Produktkategorien, insbesondere bei kleinkalibrigen Rohwürsten und Brühwürsten, ohne Qualitätseinbußen realisierbar ist.

- **Mikrobiologische Sicherheit:** Die Sicherheit der Produkte bleibt bei reduzierten Gehalten vollumfänglich gewährleistet. Bei Brühwürsten erwies sich die Verpackungsatmosphäre, insbesondere CO_2-haltiges Schutzgas, als primärer Sicherheitsfaktor, während der nominelle NPS-Wert eine untergeordnete Rolle spielte. Im Bereich der Rohwürste waren adaptierte Starterkulturen (z.B. *Staphylococcus carnosus* mit Nitratreduktaseaktivität und *Lactobacillus sakei* für einen beschleunigten pH-Abfall) entscheidend für die Stabilität und führten sogar zu einer verbesserten Eliminierung pathogener Keime wie VTEC.

- **Sensorische Akzeptanz:** Die Konsument*innen-Tests bestätigten eine hohe Akzeptanz der reduzierten Rezepturen. Es zeigte sich, dass „weniger Salz" nicht gleich „weniger Genuss" bedeuten muss, wenn eine gezielte sensorische Kompensation durch Feinabstimmung der Würzigkeit, Textur und Fettigkeitswahrnehmung erfolgt. Das Produktformat und die Darreichung beeinflussen dabei maßgeblich die Wahrnehmung.

- **Alternativen zu Salz und Nitrit:**
    - **Salzalternativen:** Praktikable Lösungen wie KCl-basierte Systeme mit Maskierungsaromen und Umami-Booster ermöglichen eine Natriumreduktion von 30-40 % und sind kurzfristig praxistauglich. Die Auswirkungen auf die technologischen Basisfunktionen des Salzes müssen jedoch stets beachtet werden.
    - **Nitritalternativen:** Der vollständige Ersatz von Nitrit durch pflanzliche Systeme ist aufgrund der komplexen EU-Rechtslage (technologische Funktion = Zusatzstoff) rechtlich heikel. Die schrittweise Nitritsenkung in Kombination mit einem umfassenden Hürdenkonzept (Starterkulturen, pH, aW, Antioxidantien) stellt den aktuell rechtssichersten Weg dar. "Nitritfreie" Claims, die indirekt Nitrit über pflanzliche Extrakte einbringen, sind kritisch zu bewerten.

Herausforderungen

Großkalibrige und langgereifte Wurstprodukte stellten höhere technologische und mikrobiologische Herausforderungen dar. Hier sind weitere Validierungsarbeiten, insbesondere bezüglich Sporenrisiken und Verpackungslösungen, erforderlich.

Beitrag zur Nachhaltigkeit und Ausblick

Das Projekt "Cleaner Meat" leistet einen signifikanten Beitrag zu den Nachhaltigkeitszielen (SDGs) 3 (Gesundheit und Wohlergehen), 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion) und 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur). Es fördert die Gesundheit der Konsument*innen durch ein reduziertes Risikoprofil, minimiert Lebensmittelabfälle durch stabilere Produkte und stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der Fleischwarenindustrie durch innovative, sichere und akzeptierte Produkte. Zukünftige Forschung sollte sich auf die weitere Optimierung von Starterkulturen für eine vollständige Nitritfreiheit, die Anpassung an weitere Produktgruppen und die Entwicklung natürlicher Farbstabilisatoren konzentrieren.

Die Ergebnisse des Projekts bilden eine fundierte Grundlage für die Fleischwarenindustrie, um den Weg zu einer gesünderen und nachhaltigeren Zukunft aktiv mitzugestalten.

1. Einleitung

Salz und Natriumnitrit sind in der Fleisch- und Wurstverarbeitung wichtige Hilfsstoffe. Sie dienen sowohl als Geschmacksträger als auch technologischer Hilfsstoff (Haltbarkeit, Konsistenz, Umrötung etc.). Doch übermäßiger Konsum von Salz und Nitrit birgt auch Gesundheitsrisiken. Hoher Salzkonsum kann den Blutdruck erhöhen und das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen steigern, während Nitrit mit der Bildung potenziell krebserregender Nitrosamine in Verbindung gebracht wird. Die Reduktion von Salz und Nitrit in Fleischwaren ist somit ein wichtiges Thema für die Lebensmittelindustrie und die öffentliche Gesundheit.

Das Projekt „Cleaner Meat" untersuchte über drei Jahre hinweg, wie weit der Gehalt an Salz und Nitrit in Fleischprodukten reduziert werden kann, ohne die Lebensmittelsicherheit und sensorischen Eigenschaften zu beeinträchtigen.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt eine tägliche Salzaufnahme von weniger als 5 g pro Person. Da 75-90 % der täglichen Salzzufuhr aus verarbeiteten Lebensmitteln stammen, sind Fleisch- und Wurstwaren ein wichtiger Ansatzpunkt für Reduktionsstrategien. Gleichzeitig wurde auf EU-Ebene während der Projektlaufzeit mit der Verordnung (EU) 2023/2108 der zuvor diskutierte Zielwert von 80 mg/kg NO_2-Ionen für Nitrit festgelegt.

2. Projektziele und -struktur

Das Projekt "Cleaner Meat" verfolgte zwei Kernfragen:

1. **Wie weit können Salz und Nitrit reduziert werden, ohne Sicherheit und Sensorik zu verschlechtern?**
   - Bestimmung des Mindestbedarfs je Produktgruppe
   - Untersuchung der Wechselwirkungen mit anderen Parametern (pH-Wert, aW-Wert)
   - Auswirkungen auf sensorische Eigenschaften
2. **Inwieweit können Fasern/quellende Substanzen die aW-senkende Wirkung von Salz kompensieren?**
   - Evaluierung über Produktions-, Lager- und Challengetests
   - Sensorische Bewertung der Alternativen

Im Projekt wurde hinsichtlich der **Salzreduktion** eine Reduktion der Zugabemenge um 25 % als anstrebenswerter Zielwert definiert. Mit einer 25%igen Salzreduktion ginge laut der „Health-Claims-Verordnung" (Verordnung (EG) Nr. 1924/2006)[1] auch der Vorteil einher, die Produkte als „salzreduziert" ausloben zu können.

[1] Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32006R1924 [Zugriff am 23.09.2025].

Vor dem Projekt wurde in der Branche intensiv diskutiert, ob der angestrebte **Grenzwert von 80 mg/kg NO_2-Ionen für Nitrit in Fleischwaren** überhaupt eingehalten werden kann, ohne dass die Produkte technologisch, mikrobiologisch und sensorisch beeinträchtigt werden. Diese Fragestellung bildete die zentrale Ausgangslage des Forschungsprojekts. Mit dem Inkrafttreten der VO (EU) 2023/2108 am 6. Oktober 2023 kam es während der Projektlaufzeit erwartungsgemäß zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008, sowie des Anhangs der Verordnung (EU) Nr. 231/2012 in Bezug auf die Lebensmittelzusatzstoffe Nitrite (E 249-250) und Nitrate (E 251-252).[2]

Bezgl. der Reduzierung von Nitrit in Form von Nitritpökelsalz (NPS) wurde als Ziel der Wert von 80 mg/kg NO_2-Ionen für E 249 (entspricht 148 mg/kg Kaliumnitrit/KNO_2) und E 250 (entspricht 120 mg/kg Natriumnitrit/$NaNO_2$) angepeilt.

Um die Reduktion von Salz- und Nitrit in den Produkten abzufedern oder auszugleichen sollten im Projekt auch **Alternativen zu Salz- und Nitrit** untersucht werden, um deren technologische Wirkung und rechtliche Situation zu analysieren und einzuordnen.

Das Projekt wurde **maßgeblich von der FFG im Rahmen der „Collective Research" Initiative (FFG-Basisprogramme) über drei Forschungsjahre 2022-2025** (FFG-Projektnummern: 918197, 905108, 893875) **mitfinanziert** und mit fünf teilnehmenden österreichischen Fleischwarenproduzenten und wissenschaftlicher Begleitung durch die Hygienicum GmbH (Institut für Lebensmittelsicherheit und Hygiene) bzw. die FH Wiener Neustadt (Campus Wieselburg) durchgeführt. Im Projektmanagement unterstützte die Staudinger & Partner GmbH. Die Innov8 GmbH steuerte ihr Know-how als technologscher Partner und Experte im Bereich Ersatzstoffe bei.

3. Erforschung von Grenzwerten

Im Arbeitspaket "Erforschung von Grenzwerten" wurde systematisch untersucht, wie weit der Gehalt an Salz und Nitrit in verschiedenen Fleischprodukten reduziert werden kann, ohne die Lebensmittelsicherheit und sensorischen Eigenschaften zu beeinträchtigen. Dazu wurden in einem mehrstufigen Prozess zunächst Produktvarianten mit unterschiedlichen Reduktionsstufen von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) hergestellt und deren mikrobiologische Stabilität über die Lagerdauer analysiert (**Differentialanalytik**). Die vielversprechendsten Varianten wurden anschließend mittels **Challengetests** validiert, bei denen das Wachstumspotential pathogener Keime wie *Listeria monocytogenes, Salmonella spp.* und STEC (*E. coli O157*) gezielt untersucht wurde.

Ergänzend wurden **Stresstests** bei erhöhten Temperaturen durchgeführt, um die Stabilität gegenüber Sporenbildnern zu prüfen, für die keine belastbaren prädiktiven Modelle zur Verfügung stehen. Die Untersuchungen erfolgten produktgruppenspezifisch für Brühwürste, Rohwürste, Dauerwürste und Großkaliberprodukte, wobei neben mikrobiologischen

[2] Verordnung (EU) 2023/2108 der Kommission vom 6. Oktober 2023 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie des Anhangs der Verordnung (EU) Nr. 231/2012 der Kommission in Bezug auf die Lebensmittelzusatzstoffe Nitrite (E 249-250) und Nitrate (E 251-252), Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302108 [Zugriff am 23.09.2025]

Parametern auch technologische Faktoren wie pH-Wert, aW-Wert und Verpackungsarten berücksichtigt wurden. Ziel war es, praktikable Grenzen für eine Reduktion zu identifizieren und wissenschaftlich zu validieren.

3.1 Produktgruppe Brühwürste

Im Rahmen des Projekts "Cleaner Meat" wurden Brühwürste, exemplarisch an einem ausgewählten Brühwurstprodukt, über alle drei Forschungsjahre hinweg intensiv untersucht, um das Reduktionspotenzial von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) zu evaluieren.

Forschungsjahr 1: Erste Differentialanalysen und Potenzialerkundung

Bereits im ersten Forschungsjahr wurden erste Differentialanalysen an Brühwürsten durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Produktvarianten mit schrittweisen Abstufungen der Salz- und NPS-Zugabe hergestellt und mikrobiologisch über die Lagerdauer analysiert. Die anfängliche Erwartung, dass bereits bei einer 50%igen Reduktion klare mikrobiologische Auswirkungen sichtbar werden würden, bestätigte sich nicht. Vielmehr zeigten die Brühwürste auch bei reduzierten NPS-Gehalten keine auffälligen mikrobiologischen Abweichungen über die Lagerzeit. Erste sensorische Untersuchungen deuteten darauf hin, dass die Reduktion von NPS um 10 %, 20 % und sogar 30 % keine signifikanten Nachteile mit sich brachte. Eine Variante mit -20 % NPS wurde sogar oft als fleischiger und würziger charakterisiert. Geringe optische Unterschiede waren erkennbar.

Forschungsjahr 2: Vertiefende Analysen und Masterarbeit

Im zweiten Forschungsjahr wurden die Differentialanalysen vertieft und durch eine umfassende Masterarbeit zu diesem Brühwurstprodukt ergänzt. Diese Arbeit untersuchte kleinkalibrige Stückware sowie geschnittene Varianten. Wie in *Abb 1*. ersichtlich, wurden Extrawurst-Varianten mit NPS-Reduktionsstufen von 0 %, -10 %, -20 % und -30 % hergestellt.

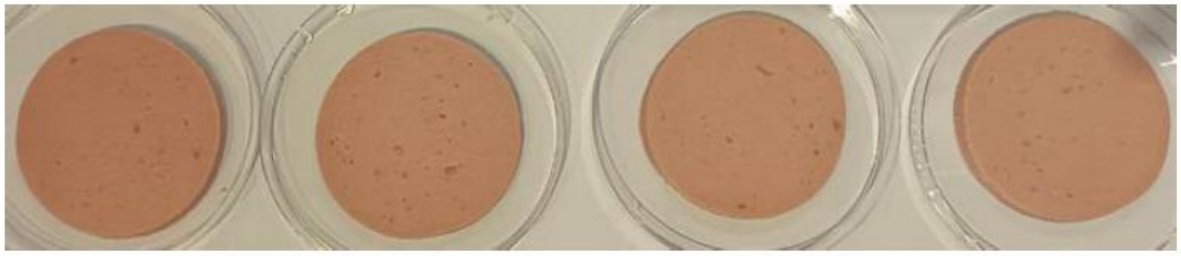


Abb. 1: Brühwürste: Endprodukt aufgeschnitten mit unterschiedlichen NPS-Reduktionsstufen (-0 %, -10 %, -20 %, -30 %).

- **Mikrobiologische Sicherheit**: Die mikrobiologischen Untersuchungen zeigten über die gesamte Lagerzeit hinweg keine auffälligen Ergebnisse. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Reduktionsstufen, selbst bei Lagerung unter kühlschranktypischen Temperaturen, wie sie vom Endverbraucher*in praktiziert werden. Auch durchgeführte Stresstests an den Stangen ergaben unauffällige Ergebnisse, wie *Abb 2*. ersichtlich.

Produkt: SN0		in KBE/g									*in 75g Mischprobe
Tage seit Produktion		Aerobe mesophile Keimzahl	Aerobe Sporenbildner	Anaerobe Keimzahl	Anaerobe Sporenbildner	Clostridium perfringens	Enterobacteriaceae	Milchsäurebakterien	Listeria monocytogenes	Salmonella spp.	Verotoxin-bildende Escherichia coli
6	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
18	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
46	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
60	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
68		<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000			
		<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000			
		<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000			
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n

Produkt: SN30		in KBE/g									*in 75g Mischprobe
Tage nach Produktion	Ansatz	Aerobe mesophile Keimzahl	Aerobe Sporenbildner	Anaerobe Keimzahl	Anaerobe Sporenbildner	Clostridium perfringens	Enterobacteriaceae	Milchsäurebakterien	Listeria monocytogenes	Salmonella spp.	Verotoxin-bildende Escherichia coli
6	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
18	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
46	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
60	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n
68	1	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	2	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	3	<1000	<1000	<1000	<1000	<100	<10	<1000	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	n.n	n.n	n.n

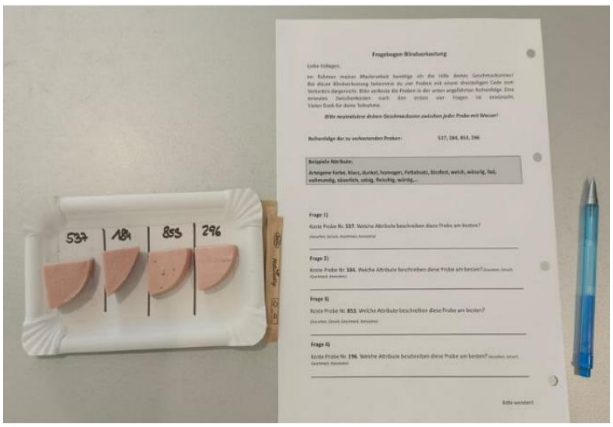
Abb. 2: Brühwürste: Links: Ergebnisse mikrobiologische Untersuchung "Lagertest" NPS-Reduktionsstufe SN0 (Standardrezeptur Brühwurst), Rechts: Ergebnisse mikrobiologische Untersuchung "Lagertest" NPS-Reduktionsstufe SN30 (-30% NPS).

- **Sensorische Bewertung**: Es wurde eine hedonische und analytische sensorische Analyse durchgeführt, wie in *Abb. 3* ersichtlich ist.
    - **Analytische Sensorik**: Drei geschulte Prüfpersonen führten eine einfach beschreibende Prüfung gemäß DIN 10964 durch. Das Aussehen der Produkte wurde über den Untersuchungszeitraum hinweg unabhängig von der NPS-Reduktionsstufe als ähnlich bewertet. Der Geschmack veränderte sich zwar über die Zeit, aber es konnten keine großen Unterschiede in der Geschmacksbeschreibung zwischen den Reduktionsstufen festgestellt werden. Auch ein bitterer Geschmack oder ein abgeschwächtes Pökelaroma wurden nicht wahrgenommen. Die Textur blieb ebenfalls weitgehend unverändert.

Datum der Untersuchung	Aussehen	Form	Geruch	Geschmack	Textur
6	Brät feucht glänzend, hellrosa, vereinzelte Hohlstellen, mit feinen, rosa und glasig-farblosen Einschlüssen, sowie vereinzelten, dunklen Gewürzeinschlüssen	Stange, rund	fleischig, fettig, leicht glutamatartig, ganz leicht säuerlich, ganz leicht dumpf	leicht salzig, fleischig, fettig, ganz leicht säuerlich, leicht dumpf, aromaarm	bissfest, weich, feucht, fettig, bröckelig im Biss
18	Brät feucht glänzend, hellrosa, vereinzelte Hohlstellen, mit feinen, rosa und glasig-farblosen Einschlüssen, sowie vereinzelten, dunklen Gewürzeinschlüssen	Stange, rund	***würzig***, fleischig, fettig, glutamatartig, ganz leicht dumpf	***würzig***, salzig, fleischig, fettig, ***glutamatartig***, leicht dumpf	bissfest, weich, feucht, fettig
46	Brät feucht glänzend, hellrosa, vereinzelte Hohlstellen, mit feinen, rosa und glasig-farblosen Einschlüssen, sowie vereinzelten, dunklen Gewürzeinschlüssen	Stange, rund	leicht würzig, fleischig, leicht fettig	würzig, salzig, fleischig, leicht fettig, leicht glutamatartig	bissfest, leicht weich, feucht, leicht fettig, bröckelig im Biss
60	Brät feucht glänzend, hellrosa, vereinzelte Hohlstellen, mit feinen, rosa und glasig-farblosen Einschlüssen, sowie vereinzelten, dunklen Gewürzeinschlüssen	Stange, rund	leicht würzig, fleischig, fettig, ganz leicht säuerlich	leicht würzig, leicht salzig, fleischig, fettig, leicht glutamatartig	bissfest, leicht feucht, leicht fettig, bröckelig im Biss
68	Brät feucht glänzend, hellrosa, vereinzelte Hohlstellen, mit feinen, rosa und glasig-farblosen Einschlüssen, sowie vereinzelten, dunklen Gewürzeinschlüssen	Stange, rund	***mild***, fleischig, ganz leicht säuerlich, leicht dumpf	***mild***, salzig, fleischig, leicht glutamatartig, ***ganz leicht säuerlich***, leicht dumpf	bissfest, feucht, fettig, bröckelig im Biss

Abb. 3: Brühwürste: Links: Auszug der Ergebnisse der einfach beschreibende Sensorik SN30 (-30% NPS). Rechts: Darreichung der Proben für die analytische Sensorik.

- **Hedonische Sensorik**: Bei der hedonischen Prüfung mit Mitarbeitenden eines Projektpartners und Privatpersonen zeigte sich, dass die Zugabemenge an NPS keinen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanz der Würste hatte. Auch die Reihung der wahrgenommenen Salzigkeit wurde nicht signifikant beeinflusst. Interessanterweise wurde die Standardprobe am häufigsten als "salzig" beschrieben, während die -30 % NPS-Variante als "vollmundig" und die -20 % NPS-Variante als "fleischig" charakterisiert wurde.



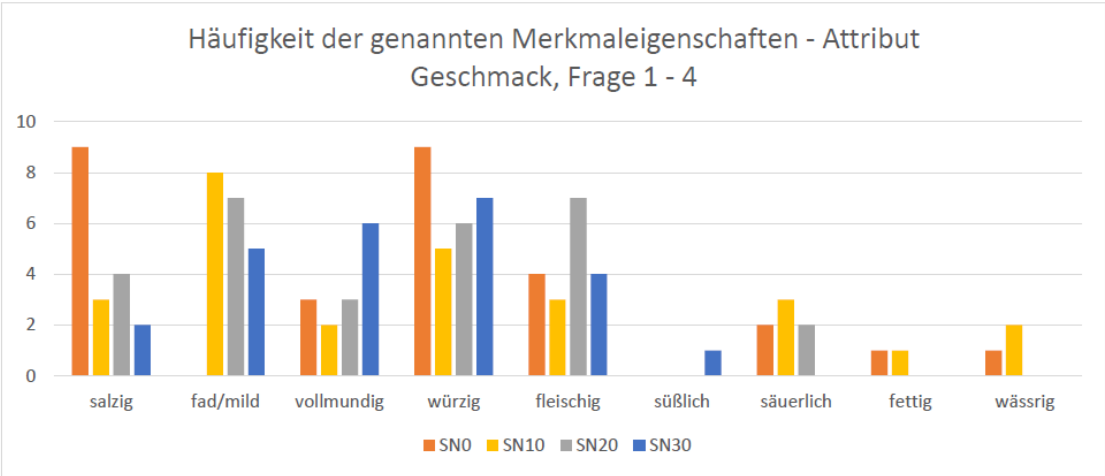


Abb. 4: Brühwürste: Oben: Darreichung der Proben für die hedonische Sensorik, Unten: Auszug Ergebnisse Häufigkeit der genannten Merkmaleigenschaften - Attribut Geschmack.

- **Simulationstest Endverbraucher*in**: Bei einem Simulationstest unter endverbrauchernahen Bedingungen (geschnittene Ware in Petrischalen bei Kühlschranktemperatur) zeigten sich bei den Reduktionsstufen SN20 und SN30 nach 15 Tagen ein als negativ empfundener säuerlicher Geruch und leichte Farbunterschiede.

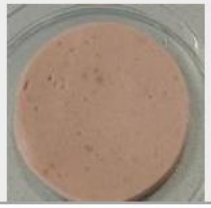
Tage seit Anschnitt	Foto	Aussehen	Geruch
0		kaum Lufteinschlüsse, arttypische Farbe,	arttypischer, neutraler Geruch
5		minimale Lufteinschlüsse, arttypische Farbe	arttypischer, neutraler Geruch
10		kaum Lufteinschlüsse, arttypische Farbe	arttypischer, neutraler Geruch
15		minimale Lufteinschlüsse, arttypische Farbe	arttypischer, neutraler Geruch
20		minimale Lufteinschlüsse, arttypische Farbe	arttypischer, neutraler Geruch

Abb. 5: Auszug Ergebnisse der sensorischen Untersuchung Simulationstest Endverbraucher der NPS-Reduktionsstufe SN10 (-10 % NPS).

Forschungsjahr 3: Validierung und Fokus auf Verpackung/Hygiene

Im dritten Forschungsjahr wurden die Erkenntnisse aus den Vorjahren vertieft und auf die Brühwürste angewendet, insbesondere im Hinblick auf die mikrobiologische Sicherheit und die Rolle der Verpackung.

- **Vorgehensweise**: Es wurden Differentialanalysen und Challenge-/Lagertests durchgeführt. Varianten mit 0 %, -10 %, -20 % und -30 % NPS wurden auf Basis der Standardrezeptur hergestellt. Parameter wie Nitrit/Nitrat (HPLC), Wasseraktivität (aW) und mikrobiologische Indikatoren (MIBI) wurden über die Haltbarkeit verfolgt. Der Produktionsprozess (Kutter/Erhitzung 70–72 °C) blieb unverändert.
- **Challenge-/Lagertests**: Gezielte Beimpfungen mit *Listeria monocytogenes, Enterobacteriaceae* und Milchsäurebakterien wurden an 1 cm dicken Slices durchgeführt. Die Lagerverläufe wurden unter verschiedenen Verpackungsbedingungen (Normalatmosphäre, Vakuum, Schutzgasverpackung mit 70 % N_2/ 30 % CO_2) untersucht.
- **Zentrale Ergebnisse**:
    - **Verpackung als Schlüsselfaktor**: Es zeigte sich deutlich, dass die Verpackung einen größeren Einfluss auf die Sicherheit hatte als der NPS-Level. CO_2-haltiges Schutzgas dämpfte das Keimwachstum am stärksten. Bei korrekter Hygiene zeigte die NPS-Reduktion bis -30 % keinen sicherheitsrelevanten Nachteil. Der kritische Kontrollpunkt (CCP) "Kochen" war zuverlässig, jedoch wurde die Rekontamination beim Slicen als kritisch identifiziert, nicht der Erhitzungsschritt.

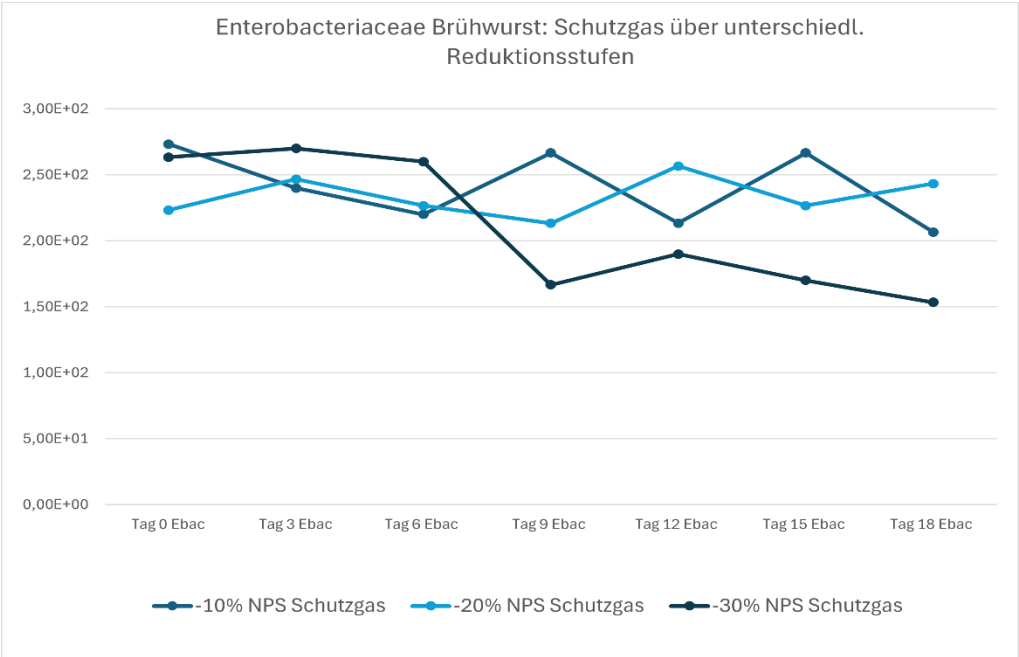


Abb. 6: *Enterobacteriaceae* in Brühwurst: Einfluss des Schutzgases bei unterschiedlichen Reduktionsstufen. Es zeigt sich ein ähnliches Verhalten der *Enterobacteriaceae*-Konzentration, unabhängig von der NPS-Reduktion im Schutzgas

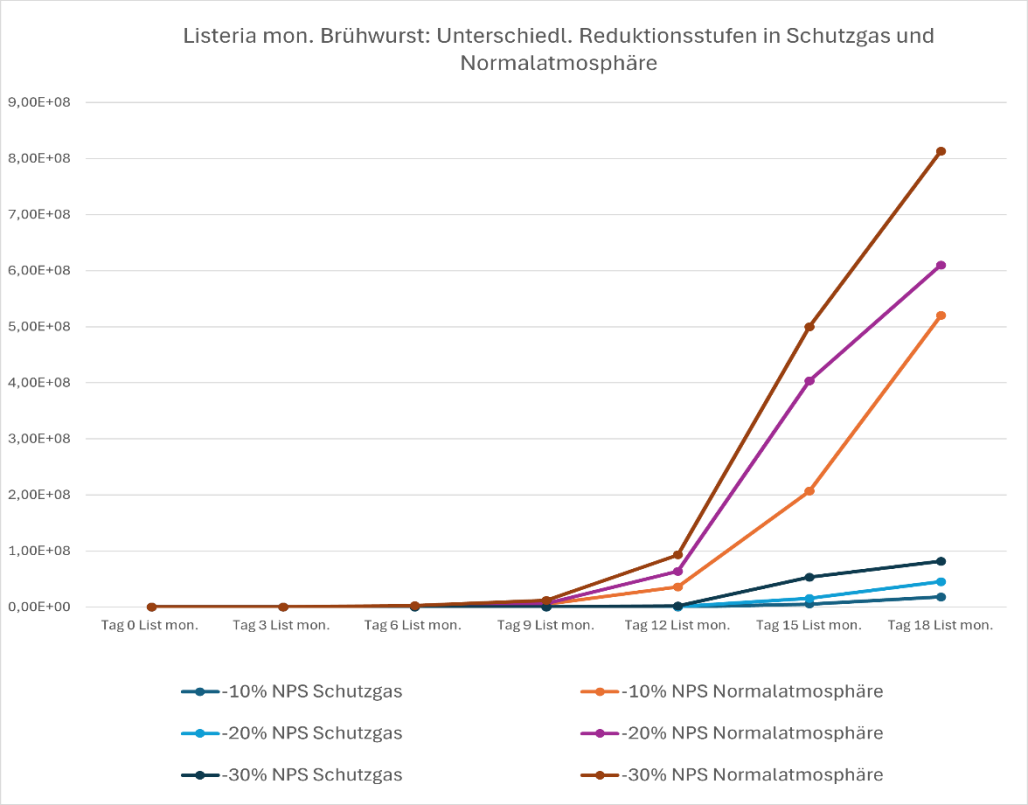


Abb. 7: Wachstum von *Listeria monocytogenes* in Brühwurst unter unterschiedlichen NPS-Reduktionsstufen in Schutzgas und Normalatmosphäre. Der Graph zeigt, dass die NPS-Reduktionsstufen einen geringeren Einfluss auf das Wachstum von *Listeria monocytogenes* haben als die unterschiedlichen Atmosphären. Insbesondere zeigt sich in Schutzgas eine geringere Wachstumsrate im Vergleich zur Normalatmosphäre.

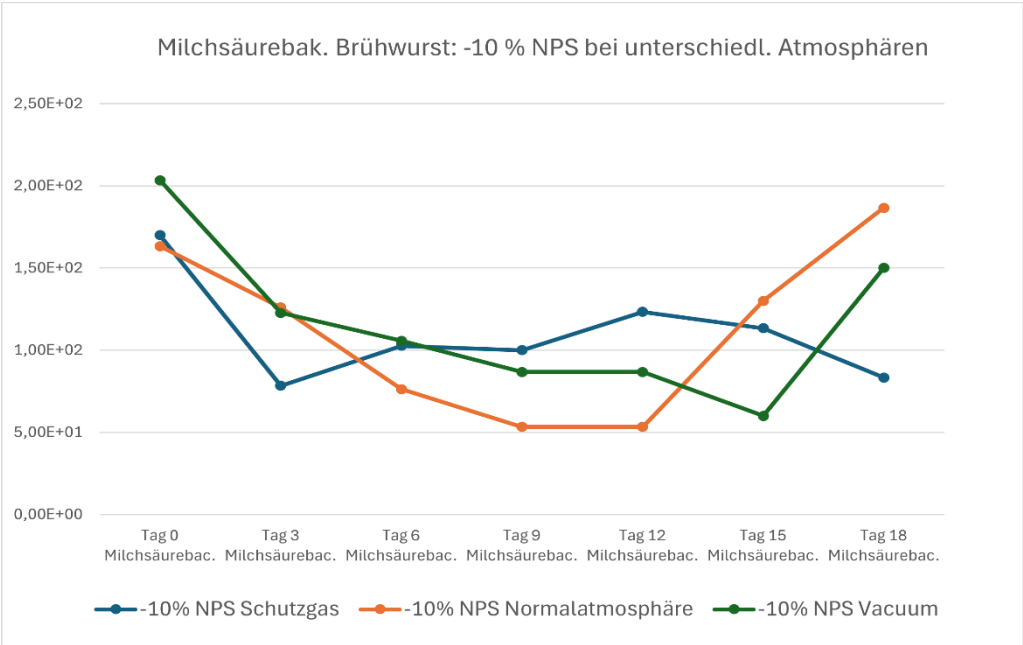


Abb. 8: Wachstum von Milchsäurebakterien in Brühwurst bei -10 % NPS unter verschiedenen Atmosphären. Der Graph zeigt, dass das beste Wachstum von Milchsäurebakterien in der Normalatmosphäre zu beobachten ist. In Vakuum und Schutzgas wird auch das Wachstum der Milchsäurebakterien gehemmt.

- **Stabile Technologieparameter**: Die aW-Werte blieben über alle Reduktionsstufen hinweg eng und stabil. Es gab keine sensorischen oder prozesstechnischen Auffälligkeiten wie erhöhten Wasser- oder Fettaustritt.
- **Verpackungsmaterialien**: Monofolien (Recycling-Mono) erwiesen sich in der Praxis als risikobehaftet (Sprödigkeit, Schweißnaht-/Leckagerate), weshalb Standardfolien derzeit bevorzugt werden.

- **Schlussfolgerung für Brühwürste**: Eine NPS-Reduktion von bis zu 30 % ist in Brühwürsten sicher realisierbar, wenn eine CO_2-haltige Schutzgasverpackung eingesetzt und eine strikte Slicing-Hygiene eingehalten wird. Der Sicherheitsgrenzbereich wird primär durch die Verpackung und Prozesshygiene bestimmt, nicht durch den nominellen NPS-Level. Für Brühwürste wurde ein Prüfpfad etabliert, der Rezeptur (NPS-Stufen), Challenge-/Lagertests mit Verpackungsfaktor und ein Hygiene-/CCP-Review umfasst. Der CO_2-Gehalt und die Materialwahl sind dabei wichtige, dokumentationspflichtige Parameter.

Die Ergebnisse für Brühwürste zeigen somit, dass eine **signifikante Reduktion von Nitritpökelsalz** ohne Einbußen bei der mikrobiologischen Sicherheit oder den technologischen Eigenschaften möglich ist, vorausgesetzt, die **Verpackungsatmosphäre** und die **Prozesshygiene** werden entsprechend angepasst und optimiert.

3.2 Produktgruppe Rohwürste

Die Produktgruppe der Rohwürste, exemplarisch untersucht an verschiedenen kurzgereiften Spezialitäten, spielte eine Schlüsselrolle im Projekt „Cleaner Meat". Über die gesamte Projektlaufzeit hinweg wurden systematisch die Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) erforscht, wobei stets die mikrobiologische Sicherheit, die technologischen Eigenschaften und die sensorische Akzeptanz im Fokus standen.

Forschungsjahr 1: Erste vielversprechende Erkenntnisse

Im ersten Projektjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf eine umfassende Differentialanalytik. Hierbei wurden verschiedene Rohwurstvarianten mit schrittweise reduzierten Salz- und NPS-Gehalten hergestellt und über ihre Lagerdauer hinweg mikrobiologisch untersucht. Entgegen der anfänglichen Annahme, dass bereits eine 50%ige Reduktion gravierende mikrobiologische Auswirkungen zeigen würde, konnten feststellt werden, dass selbst bei diesen Reduktionsgraden keine auffälligen Abweichungen auftraten. Es gab keine Hinweise auf das Wachstum von pathogenen Keimen wie *Salmonella, EHEC* oder *Listerien*.

Besonders hervorzuheben ist, dass die technologischen Hürden für die Salz- und Nitritreduktion im Rohwurstbereich geringer waren als erwartet. Eine Reduktion um 25 % Kochsalz und eine Absenkung des NPS auf 80 mg/kg NO_2-Ionen erwiesen sich als realistisch. Erste sensorische Untersuchungen zeigten, dass eine Salzreduktion teilweise sogar positiv bewertet wurde; eine um 25 % reduzierte Salzvariante stieß bei Blindverkostungen auf die

größte Akzeptanz. Dies deutete bereits früh darauf hin, dass eine Salzreduktion nicht zwangsläufig mit einer subjektiven Verringerung der sensorischen Qualität einhergeht. Auch bei der NPS-Reduktion auf den damals diskutierten Grenzwert von 80 mg/kg NO_2-Ionen wurden bei kleinkalibrigen Rohwürsten keine gravierenden sensorischen Abweichungen wie Vergrauung oder Verblassung festgestellt.

Forschungsjahr 2: Validierung durch Challengetests und Predictive Microbiology

Im zweiten Projektjahr wurden die vielversprechenden Ansätze aus PJ1 durch gezielte Challengetests und den Einsatz von Predictive Microbiology (Food MicroModel ComBase) weiter validiert.

- **Vorgehensweise**: Die aussichtsreichsten salz- und nitritreduzierten Rohwurstvarianten wurden im Technikum hergestellt und gezielt mit pathogenen Keimen (*Listeria monocytogenes, Salmonella spp., VTEC*) beimpft. Die mikrobiologische Entwicklung wurde über die Lagerdauer analysiert. Drei Hauptvarianten wurden untersucht: eine Standardrezeptur (ca. 150 mg/kg Nitritzusatz, eine Variante mit 80 mg/kg Nitritzusatz und 25 % Salzreduktion, sowie eine Variante mit 40 mg/kg Nitritzusatz und 25% Salzreduktion.

- **Mikrobiologische Sicherheit**: Die Ergebnisse zeigten, wie in *Abb. 9* und *Tab. 1* ersichtlich, dass sich die NPS- und salzreduzierten Varianten sehr ähnlich wie die Standardvariante verhielten. Bei *Listeria monocytogenes* wurde eine Reduktion von etwa 1,5 Log-Stufen beobachtet, wobei der Wert sich über die Lagerdauer bei 10-20 KBE/g einpendelte. *Salmonella spp.* wurde zwar nicht vollständig eliminiert (was mit Literaturkenntnissen übereinstimmt), zeigte aber keine Verschlechterung gegenüber der Standardrezeptur. Besonders bemerkenswert war die rasche Reduktion von *VTEC*, das in nitritreduzierten Varianten sogar schneller nicht mehr nachweisbar war als in der Standardvariante. Insgesamt wurde eine vergleichbare Sicherheit der reduzierten Produkte zu konventionellen Varianten festgestellt.

Tab. 1: *Keimbelastung der Rohwurst V1, V2 und V3 über den Untersuchungszeitraum.*

Variante 1 Tage	**Listeria monocytogenes quant.** [KBE/g]	**Salmonella quant./qual.** [KBE/g]	**VTEC qual.** [KBE/g]
0	$5,45*10^3$	$5,40*10^3$	nachweisbar
14	$3,67*10^2$	nachweisbar	nachweisbar
38	$8,7*10^1$	nachweisbar	n.n.
56	25	nachweisbar	n.n.
70	18	nachweisbar	n.n.
Variante 2 Tage	**Listeria monocytogenes quant. [KBE/g]**	**Salmonella quant./qual. [KBE/g]**	**VTEC qual. [KBE/g]**
0	$5,25*10^3$	$6,05*10^3$	nachweisbar
14	$3,53*10^2$	nachweisbar	nachweisbar
38	$5,00*10^1$	nachweisbar	n.n.
56	<10	nachweisbar	n.n.
70	$1,30*10^1$	nachweisbar	n.n.

Variante 3 Tage	Listeria monocytogenes quant. [KBE/g]	Salmonella quant./qual. [KBE/g]	VTEC qual. [KBE/g]
0	$6{,}05*10^3$	$5{,}40*10^3$	nachweisbar
14	$1{,}37*10^2$	nachweisbar	nachweisbar
38	$1{,}83*10^1$	nachweisbar	n.n.
56	<10	nachweisbar	n.n.
70	<10	nachweisbar	n.n.

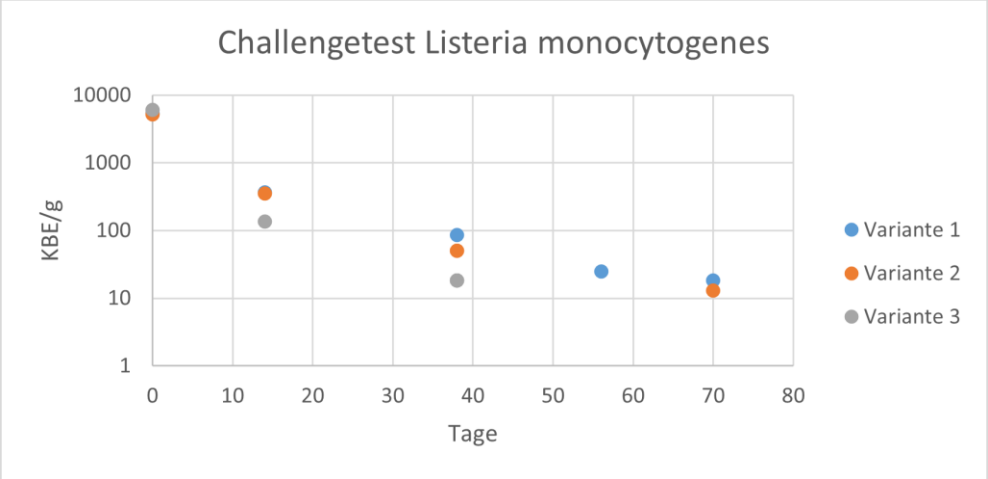


Abb. 9: Challengetest *Listeria monocytogenes*: Abbauverlauf der Keimbelastung über die Lagerdauer der Varianten V1, V2 und V3.

- **Rolle der Starterkulturen**: Es wurde die These aufgestellt, dass die Wirkung von Nitratreduktasen in den verwendeten Starterkulturen ausreicht, um aus vorhandenem Blindnitrat genügend Nitrit zu erzeugen und so die gewünschten Nitriteffekte zu erzielen.
- **Predictive Microbiology**: Die Modellläufe mit ComBase bestätigten, dass aW-Werte (salzbedingt) und der pH-Abfall in der Reifephase die maßgeblichen Regulatoren sind. Bei normgerechtem Initiallevel waren keine abweichenden Wachstumskurven zu erwarten.
- **Stresstests**: Ergänzende Stresstests bei 37 °C zeigten, dass die Keimzahlen meist rasch sanken und keine Pathogene entwickelt wurden, was auf eine gute Stabilität hinweist.

Forschungsjahr 3: Bestätigung, Optimierung und sensorische Feinjustierung

Das dritte Projektjahr diente der weiteren systematischen Untersuchung und Validierung der Reduktionspotenziale, insbesondere unter Berücksichtigung der neuen gesetzlichen Vorgaben und der Rolle von Schutzkulturen.

- **Reduktionspotenziale**: Eine Reduktion von Salz um bis zu 25 % und Nitrit auf 50 % des neuen gesetzlichen Zielwerts (40 mg/kg NO_2-Ionen) in kurzgereiften Rohwürsten

übertraf die ursprünglichen Erwartungen. Dies belegt, dass der neue gesetzliche Zielwert von 80 mg/kg für Nitrit ohne Qualitätseinbußen erreichbar ist.

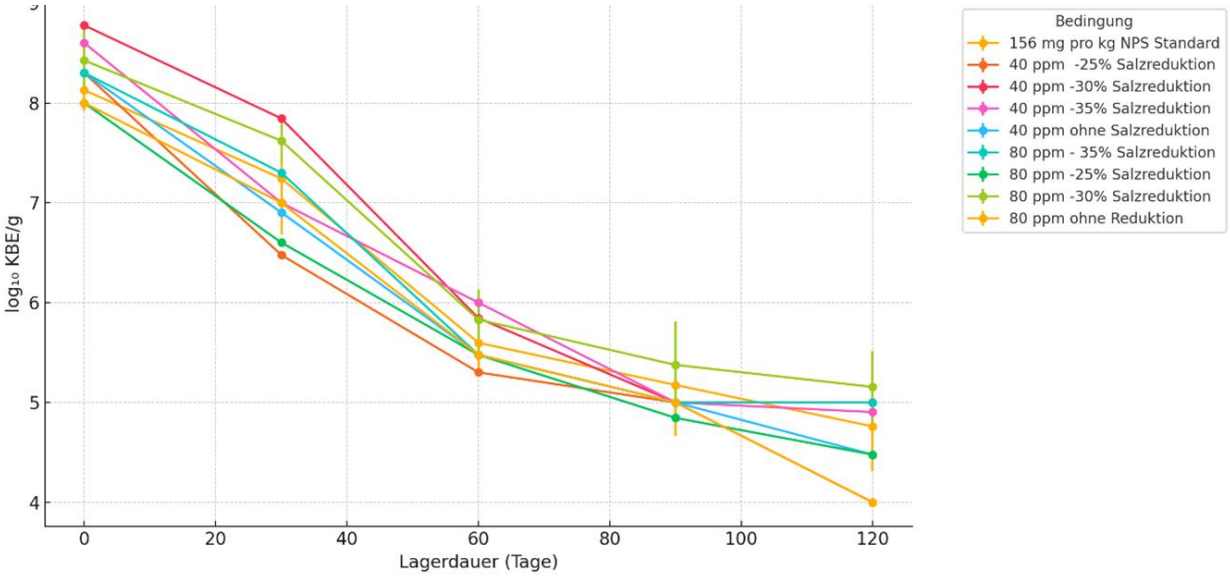


Abb. 10: Keimzahlentwicklung der aeroben Keimzahl aller Rezepturvarianten. Beginnend bei Tag 0 (nach der Reife) entlang der Haltbarkeit bis 120 Tage im Median in log10 KBE/g inkl. Darstellung der Standardabweichung.

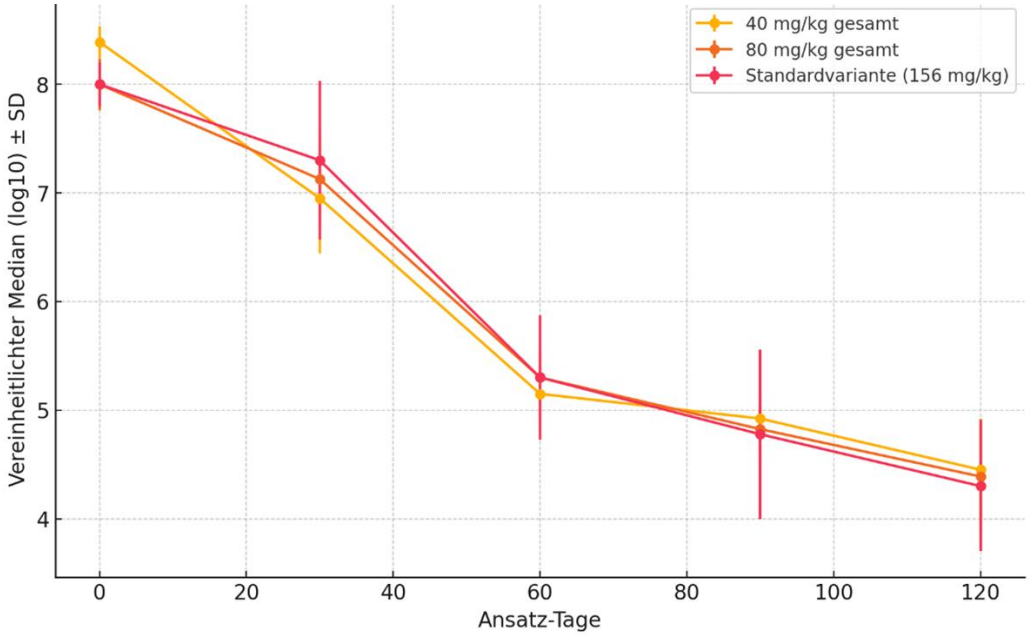


Abb. 11: Übersicht der Keimzahlentwicklung der Nitritzugabe Varianten (40 mg/kg; 80 mg/kg und Standardrezeptur mit 156 mg/kg). Beginnend bei Tag 0 (nach der Reife) entlang der Haltbarkeit bis 120 Tage im Median in log10 KBE/g inkl. Standardabweichung.

- **Mikrobiologische Sicherheit**: Die Challengetests bestätigten eine Reduktion von mindestens 2 Log-Stufen für alle getesteten vegetativen pathogenen Keime in allen reduzierten Varianten, was die mikrobiologische Sicherheit untermauert.

Analysenzeitpunkt	Tag 0	Tag 30	Tag 49	Tag 60	Tag 90
Variante 1: 125 mg/kg	2,5	1,9	1,4	1,2	n.n.
Variante 1: 125 mg/kg	2,5	2,0	1,4	1,3	1,0
Variante 1: 125 mg/kg	2,7	2,0	1,4	1,3	1,0
Variante 2: 80 mg/kg	2,7	1,5	<10	<10	<10
Variante 2: 80 mg/kg	2,6	1,9	1,0	1,3	<10
Variante 2: 80 mg/kg	2,2	1,7	<10	1,0	<10
Variante 3: 40 mg/kg	2,3	1,4	1,0	1,0	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	2,2	1,2	1,0	<10	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	1,9	1,2	<10	<10	n.n.

Abb. 12: Erfolgsproben *Listeria monocytogenes* in log KBE/g bzw. in 25 g.

Analysenzeitpunkt	Tag 0	Tag 30	Tag 49	Tag 60	Tag 90
Variante 1: 125 mg/kg	<100	<100	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 1: 125 mg/kg	<100	<100	<100	nachweisbar	nachweisbar
Variante 1: 125 mg/kg	<100	<100	<100	nachweisbar	nachweisbar
Variante 2: 80 mg/kg	<100	<100	<100	nachweisbar	nachweisbar
Variante 2: 80 mg/kg	<100	<100	<100	n.n.	n.n.
Variante 2: 80 mg/kg	<100	<100	<100	nachweisbar	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	<100	<100	<100	n.n.	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	<100	<100	<100	nachweisbar	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	<100	<100	<100	n.n.	n.n.

Abb. 13: Erfolgsproben *Salmonella spp.* in log KBEg bzw in 25g.

Analysenzeitpunkt	Tag 0	Tag 30	Tag 49	Tag 60	Tag 90
Variante 1: 125 mg/kg	nachweisbar	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 1: 125 mg/kg	nachweisbar	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 1: 125 mg/kg	nachweisbar	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 2: 80 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 2: 80 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 2: 80 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Variante 3: 40 mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Abb. 14: Erfolgsproben *VTEC* in log KBE/g bzw in 25g.

- **Reifeverhalten und sensorische Eigenschaften**: Eine Salzreduktion (bis zu 35 %) verzögerte den Reifeprozess nicht; pH-Wert und Abtrocknung blieben im Zielbereich. Die aW-Werte stiegen leicht an (von 0,85 auf bis zu 0,88), lagen aber weiterhin unter dem gesetzlichen Sicherheitswert von 0,92. Ein schnellerer pH-Wert-Abfall in salzreduzierten Varianten in der initialen Reifephase trug positiv zur mikrobiologischen Sicherheit bei. Sensorisch gab es keine negativen Auswirkungen auf Schnittbild, Farbe oder Festigkeit.

- **Rolle der Starterkulturen**: Die Verwendung von Schutzkulturen sich als wesentlicher Faktor. *Staphylococcus carnosus* kompensiert reduziertes Nitrit durch seine Nitratreduktaseaktivität, während *Lactobacillus sakei* einen raschen pH-Wert-Abfall bewirkt, der zusätzliche Stabilitätsvorteile bietet und die Salzreduktion ausgleicht. Die Wirkung von Nitratreduktasen in Starterkulturen wurde als deutlich unterschätzt identifiziert und bietet vielversprechendes Potenzial für eine vollständig nitritfreie Produktion.

- **Sensorische Akzeptanz**: Home-Use-Tests (HUT) und Labor-Vergleichstests zeigten, dass die reduzierten Rohwurstvarianten hohe Akzeptanzwerte erzielten. Eine der neuen Varianten wurde tendenziell in allen Merkmalen besser bewertet als die Referenz. Optimierungspotenziale wurden bei der Würzigkeit (anheben), Schärfequalität (nachschärfen) und Festigkeit identifiziert, während die verringerte Salzigkeit nur eine untergeordnete Rolle spielte.

Gesamtschlussfolgerung für Rohwürste

Die Forschungsarbeiten im Bereich der Rohwürste haben eindrucksvoll gezeigt, dass eine **signifikante Reduktion von Salz (bis zu 25 %)** und **Nitrit (bis auf 40 mg/kg NO_2-Ionen)** ohne Kompromisse bei Reife, Sensorik oder mikrobiologischer Sicherheit möglich ist. Der Erfolg basiert maßgeblich auf dem gezielten Einsatz adaptierter Starterkulturen, die sowohl die mikrobiologische Stabilität gewährleisten als auch sensorische Eigenschaften positiv beeinflussen. Diese Erkenntnisse sind ein wichtiger „Mosaikstein" für Hersteller, um der Nachfrage nach „Clean Label"-Produkten gerecht zu werden und gleichzeitig hohe Sicherheits- und Qualitätsstandards zu wahren.

3.3 Weitere Untersuchungen: Großkaliber und Dauerwürste

Die Untersuchung von großkalibrigen Rohwurstprodukten und langgereiften Wurstwaren, wie einem ausgewählten Dauerwursttyp und großkalibrigen Rohwürsten, stellte im Projekt „Cleaner Meat" besondere Herausforderungen dar. Über die drei Forschungsjahre hinweg wurden die Auswirkungen der Reduktion von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) auf mikrobiologische Sicherheit, technologische Parameter und sensorische Eigenschaften systematisch analysiert.

Forschungsjahr 1: Erste Erkenntnisse und identifizierte Herausforderungen

Im ersten Projektjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf die Differentialanalytik verschiedener Wurstvarianten mit schrittweise reduzierten Salz- und NPS-Gehalten. Hierbei zeigte sich, dass die technologischen Hürden der Salz- und Nitritreduktion bei großkalibrigen Produkten (Wurstdurchmesser über 60 mm) deutlich höher waren als bei kleinkalibrigen.

- **Sensorische und technologische Abweichungen**: Bereits bei einer geringen Salzreduktion von 25 % zeigten sich bei großkalibrigen Rohwurstprodukten deutliche sensorische Unterschiede. Dazu gehörten trockene Ränder, Verdunkelungen und ein inhomogenes Schnittbild. Bei einem anderen großkalibrigen Rohwurstprodukt mit 70 mm Durchmesser und einer Salzreduktion von 35 % traten zwar keine Auffälligkeiten beim Gewichtsverlust während der Reifung auf, jedoch wurden ab einer Reduktion von 35 % signifikante geschmackliche Unterschiede festgestellt. Optisch fielen hierbei keine Veränderungen auf.

Abb. 15: Links: Farbabweichung am Rand einer Salamivariante mit -50 % Salzgehalt. Rechts: Kernweiche und Risse bei einer Salamivariante mit -75 % Salzgehalt.

Forschungsjahr 2: Vertiefung der Problematik und Suche nach Ursachen

Im zweiten Projektjahr wurden die Beobachtungen aus PJ1 vertieft. Es bestätigte sich, dass großkalibrige Produkte ab einem Durchmesser von 60 mm ein wesentliches "Bottleneck" bei der Reduzierung von Salz und Nitrit darstellten. Die Salz- bzw. NPS-Reduktion wirkte sich bei diesen Produkten vermehrt auf die Produkteigenschaften aus, was zu rissiger, fahler Qualität führen konnte.

- **Mikrobiologische Stabilität**: Bei einem ausgewählten Dauerwursttyp gab es hohe mikrobiologische Schwankungsbreiten innerhalb derselben Charge (10^3 bis 10^6 KBE/g), was auf mögliche Produktions- oder Reifevariationen hindeutete. Trotz dieser Schwankungen zeigten die mikrobiologischen Analysen bei den großkalibrigen Rohwurstprodukten keine Abweichungen, obwohl sensorische und technologische Probleme auftraten.
- **Sensorische Abweichungen bei Großkalibern**: Bei großkalibrigen Rohwurstprodukten (70 mm Kaliber) zeigten sich bereits in der Anfangsphase der Reifung Abweichungen wie ein feuchter/dumpfer Geruch, Vergrauung, Farbveränderungen, trockene Ränder und ein inhomogenes Schnittbild. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Salzreduktion der primäre Auslöser dieser Probleme sein könnte, da ähnliche Abweichungen bereits in PJ1 bei alleiniger Salzreduktion auftraten und niedrige Nitritwerte in Bio-Produkten nicht zu solchen Problemen führen. Es wurde vorgeschlagen, im dritten Projektjahr zu differenzieren, ob die Veränderungen durch Nitrit- oder Salzreduktion stammen.
- **Predictive Microbiology**: Für langgereifte Produkte (Dauerwaren) standen keine belastbaren prädiktiven Modelle für das Wachstum von Sporenbildnern zur Verfügung. Daher wurde eine Strategieänderung hin zu Stresstestverfahren gewählt, um diese fehlenden Modellbereiche empirisch abzusichern.

Forschungsjahr 3: Sensorische Akzeptanz und ausstehende Validierung

Im dritten Projektjahr wurden die Untersuchungen fortgesetzt, wobei ein Fokus auf die sensorische Akzeptanz und die weitere Validierung der mikrobiologischen Sicherheit gelegt wurde.

- **Dauerwursttyp**: Bei einem ausgewählten Dauerwursttyp wurden Lagerversuche durchgeführt, die sich auf die sensorische und mikrobiologische Stabilität der salz- und nitritreduzierten Varianten konzentrierten.
    - **Sensorik**: Die Produkte wurden sensorisch sehr gut bewertet, mit gutem Schnittbild und Feinkörnigkeit.
    - **Mikrobiologie**: Es wurden keine signifikanten Pathogene oder Sporenbildner nachgewiesen. Allerdings gab es weiterhin hohe mikrobiologische Schwankungen (10^3 bis 10^6 KBE/g) innerhalb der Charge, was auf mögliche Produktions- oder Reifevariationen hindeutet. Eine abschließende Beurteilung

der mikrobiologischen Sicherheit war aufgrund ausstehender Challengetests noch nicht möglich.

- **Sensorische Konsumententests**: Home-Use-Tests (HUT) und Labor-Vergleichstests zeigten sehr hohe Mittelwerte (> 7,2/9) für Aussehen, Geruch, Geschmack und Gesamtakzeptanz. Geschnittene Varianten wurden tendenziell besser bewertet als ganze Stücke. Eine neue, reduzierte Variante wurde im Labortest sogar signifikant besser bewertet als die Referenz.
    - *Optimierungspotenziale*: Bei diesem Dauerwursttyp wurde festgestellt, dass die Würzigkeit teils zu gering war, was sich negativ auf die Gesamtakzeptanz auswirkte. Die Fettigkeit wurde bei geschnittenen Varianten teils als zu hoch wahrgenommen. Die Salzigkeit war meist "just-about-right", wobei eine geringere Salzdominanz einen harmonischeren Gesamteindruck fördern konnte.

- **Großkalibrige Produkte (allgemein)**: Für großkalibrige Produkte sind weiterhin gezielte Restarbeiten zur Validierung von Sporenrisiken (z.B. Stresstests, vertiefende Challengetests) sowie die Absicherung der Verpackungslösungen erforderlich.

Gesamtschlussfolgerung für Großkalibrige und langgereifte Wurstprodukte

Die Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass die Reduktion von Salz und Nitrit bei großkalibrigen und langgereiften Wurstprodukten komplexer ist als bei kleinkalibrigen Varianten. Während sensorisch vielversprechende Ergebnisse erzielt wurden und reduzierte Varianten hohe Akzeptanz finden können, sind die technologischen und mikrobiologischen Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Sporensicherheit und die Homogenität der Reifeprozesse, noch nicht vollständig gelöst. Für diese Produktkategorien besteht weiterer Forschungsbedarf, insbesondere die Durchführung von Challengetests zur abschließenden Bestätigung der mikrobiologischen Sicherheit und die Erforschung spezifischer technologischer Anpassungen. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, produktspezifische Lösungen zu entwickeln, um die Reduktionsziele ohne Qualitätseinbußen zu erreichen.

4. Sensorische Parameter

Die Akzeptanz der Reduktion im Fokus

Die sensorische Bewertung der Produkte war ein entscheidender Pfeiler des Projekts „Cleaner Meat", da die Akzeptanz durch die Konsument*innen maßgeblich über den Erfolg von Salz- und Nitritreduktionsstrategien entscheidet. Über die gesamte Projektlaufzeit hinweg wurden die Auswirkungen der Rezepturanpassungen auf Geschmack, Textur, Aussehen und Geruch systematisch untersucht.

Forschungsjahr 1 und 2: Erste Eindrücke und methodische Weiterentwicklung

In den ersten beiden Projektjahren wurden begleitend zur mikrobiologischen Differentialanalytik erste sensorische Untersuchungen direkt in den Betrieben durchgeführt.

Ziel war es, mögliche Abweichungen, Reifefehler oder geschmackliche Veränderungen frühzeitig zu erkennen und die Weiterentwicklung vielversprechender Produktvarianten zu steuern. Dabei kamen unterschiedliche Verkostungsmethoden zum Einsatz, darunter geordnete Reihenfolgen und Blindverkostungen.

Es zeigte sich bereits früh, dass die Reduktion von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) bei kleinkalibrigen Produkten, wie bestimmten Rohwurst- und Brühwurstprodukten, oft nur geringe sensorische Unterschiede hervorrief und teilweise sogar positiv bewertet wurde. Eine Reduktion des Salzgehalts um 20 % bis 30 % wurde sensorisch als durchaus zulässig erachtet. Bei einem langgereiften Wurstprodukt deutete eine blindgemischte Verkostung sogar darauf hin, dass eine reduzierte Variante besser abschnitt als das Standardprodukt, was die These untermauerte, dass „eingebrannte" Erwartungsmuster von Verkoster*innen das Ergebnis beeinflussen können.

Hingegen stellten großkalibrige Wurstprodukte (mit Durchmessern über 60 mm) eine größere Herausforderung dar. Hier führten Salz- und NPS-Reduktionen zu deutlichen sensorischen und technologischen Abweichungen wie trockenen Rändern, Vergrauung, Farbveränderungen und einem inhomogenen Schnittbild. Diese Erkenntnisse verdeutlichten die Notwendigkeit einer produktspezifischen Betrachtung und führten zur Entscheidung, im dritten Projektjahr eine unabhängige und objektive Bewertung durch externe wissenschaftliche Partner*innen durchzuführen.

Forschungsjahr 3: Umfassende Konsument*innen-Tests durch die FH Wiener Neustadt

Im dritten Projektjahr wurden die sensorischen Untersuchungen maßgeblich durch die FH Wiener Neustadt, Campus Wieselburg, als wissenschaftlichen Partner vertieft. Hierbei wurden die finalen, salz- und nitritreduzierten Produktvarianten zweier Projektpartner in zwei komplementären Settings mit Konsument*innen getestet:

1. **Home-Use-Akzeptanztests (HUT)**: Diese Tests fanden in der realitätsnahen Verzehrumgebung der Konsument*innen statt, um authentische Einblicke in die Akzeptanz unter Alltagsbedingungen zu gewinnen.

2. **Paarweise Akzeptanz-/Präferenztests im Sensoriklabor (DIN EN ISO 8589)**: Diese kontrollierten Labortests ermöglichten statistisch abgesicherte Vergleiche zwischen den reduzierten Varianten und den Referenzprodukten.

Bewertet wurden dabei unter anderem Aussehen, Geruch, Geschmack und die Gesamtakzeptanz mittels 9-Punkt-Hedonikskalen. Produktspezifische Attribute wie Salzigkeit, Würzigkeit, Festigkeit, Raucharoma, Schärfe und Fettigkeit wurden mittels Just-About-Right (JAR)-Skalen und Penalty-Analysen untersucht, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Der Fokus lag auf markentreuen „Heavy Usern", um die anspruchsvollste Zielgruppe zu adressieren.

Ergebnisse der Konsument*innen-Tests (PJ3):

- **Kleine Rohwurstspezialitäten (z.B. geräucherte, scharfe und luftgetrocknete Varianten)**:
  - **Hohe Akzeptanz**: Alle drei reduzierten Varianten erzielten hohe Akzeptanzwerte (> 6,3/9), wie in *Abb. 16* ersichtlich ist. Eine der Varianten wurde tendenziell sowohl im Home-Use-Test als auch im Sensoriklabor in allen Merkmalen sogar besser bewertet als die Referenz.
  - **Optimierungspotenziale**: Bei einer luftgetrockneten Variante wurde die Akzeptanz als abhängig von Konsummustern identifiziert, mit der Empfehlung, die Würzigkeit anzuheben. Bei der scharfen Variante sollte die Schärfequalität (Balance) nachgeschärft werden. Übergreifend wurde die Verbesserung der Festigkeit der reduzierten Proben empfohlen. Die verringerte Salzigkeit spielte dabei nur eine untergeordnete Rolle. Das signifikante Optimierungspotenzial ist in *Abb. 17* visualisiert.

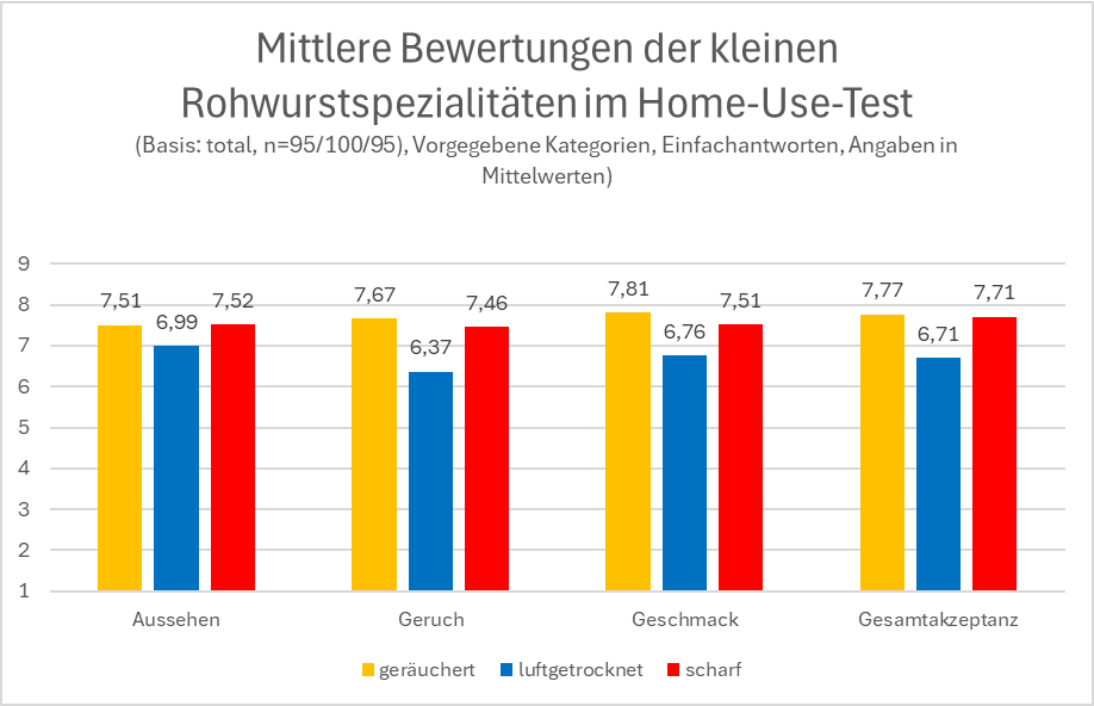


Abb. 16: Mittlere Bewertungen dreier kleiner Rohwurstspezialitäten in den Merkmalen Aussehen, Geruch, Geschmack und Gesamtakzeptanz im Vergleich

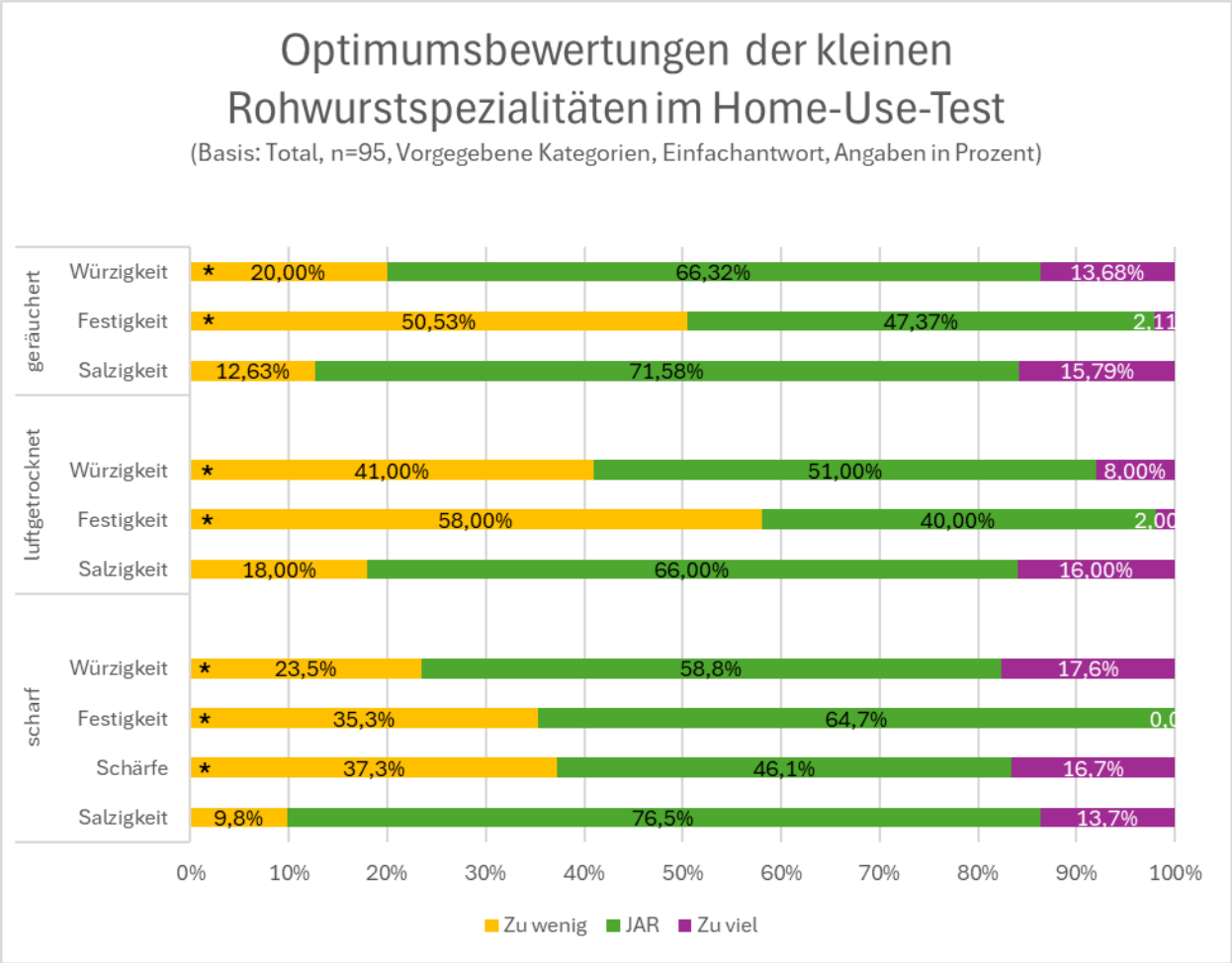


Abb. 17: Optimumsbewertungen für Salzigkeit und Würzigkeit dreier kleiner Rohwurstspezialitäten im Vergleich. Das Sternchen kennzeichnet ein signifikantes Optimierungspotenzial.

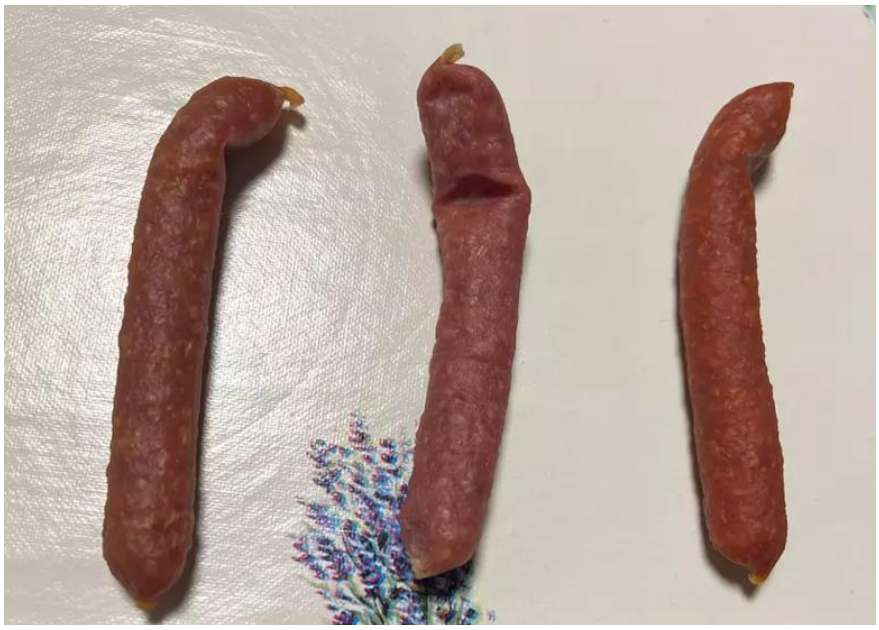


Abb. 18: Verkostungsanordnung eines/einer Proband*in im Home-Use-Test, von links nach rechts: geräuchert, luftgetrocknet, scharf

- **Langgereiftes Wurstprodukt (geschnitten und im Stück)**:
  - **Hohe Akzeptanz**: Die reduzierte Variante zeigte sehr hohe Mittelwerte (> 7,2/9) für Aussehen, Geruch, Geschmack und Gesamtakzeptanz. Die geschnittene Variante wurde tendenziell besser bewertet als das Produkt im Stück (Aussehen signifikant), wie in *Abb. 19* ersichtlich ist.

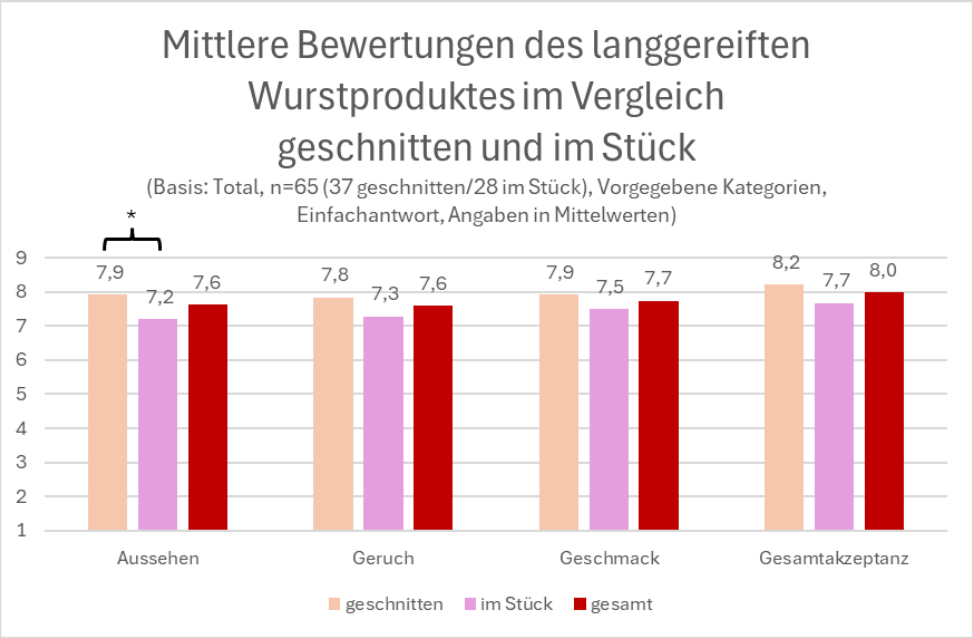


Abb. 19: Mittlere Bewertungen dreier kleiner Rohwurstspezialitäten in den Merkmalen Aussehen, Geruch, Geschmack und Gesamtakzeptanz im Vergleich zwischen geschnitten und im Stück

  - **Präferenz im Labortest**: Im paarweisen Labortest wurde die neue, reduzierte Variante signifikant besser bewertet als die Referenz (Mittel 7,66 vs. 6,84), mit einer klaren Präferenz von 39:19 zugunsten der neuen Variante. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass Farbdifferenzen und Anschnittstärke mögliche Bias-Quellen darstellen könnten.
  - **JAR/Penalty-Insights**:
    - **Würzigkeit**: Teilweise als zu gering empfunden, was einen negativen Einfluss auf die Gesamtakzeptanz hatte (insbesondere im Stück, aber auch bei der geschnittenen Variante im Labor bestätigt).
    - **Fettigkeit**: Die geschnittene Variante wurde teilweise als zu fettig wahrgenommen, was zu einem signifikanten Akzeptanzrückgang führte.

- **Salzigkeit**: Meist als "just-about-right" empfunden. Im Direktvergleich wurde sie teilweise als zu gering erkannt, jedoch wurde die Referenz oft als zu salzig empfunden, was darauf hindeutet, dass eine geringere Salzdominanz einen harmonischeren Gesamteindruck fördern kann. Das Optimierungspotenzial laut Präferenztest ist in *Abb. 20* abzulesen.

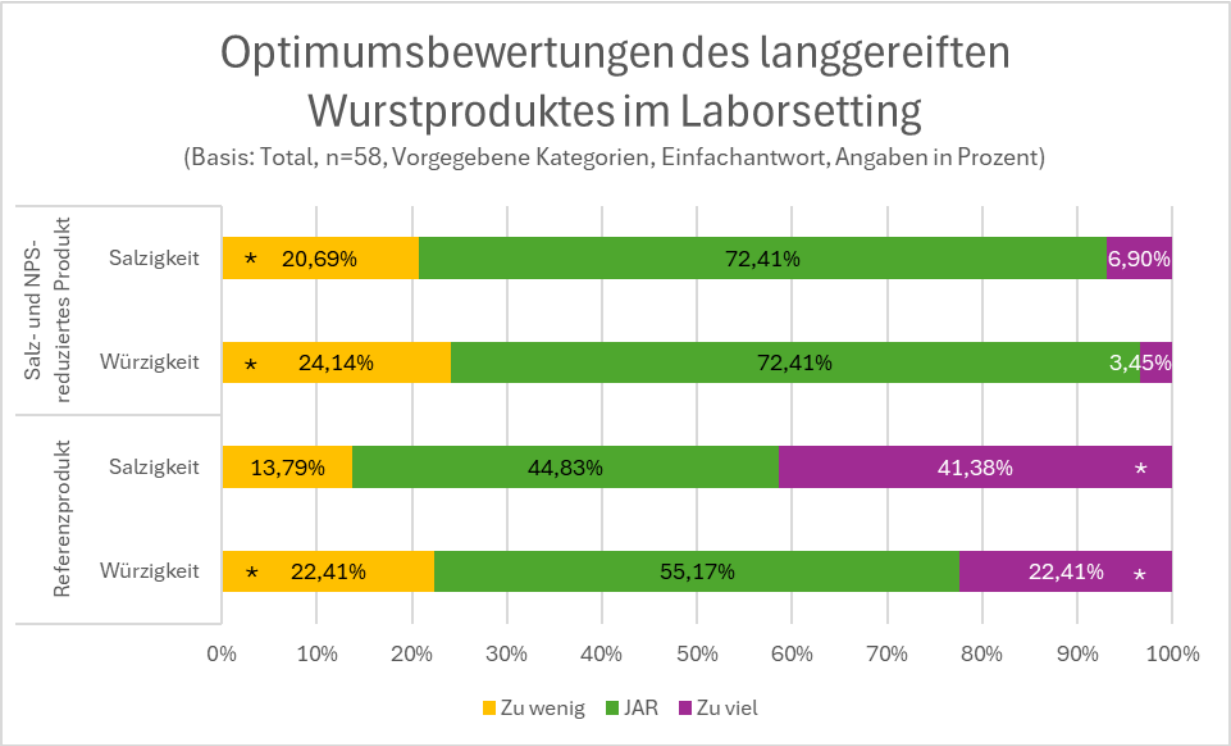


Abb. 20: Optimumsbewertungen für Salzigkeit und Würzigkeit des langgereiften Wurstproduktes, Salz- und NPS-reduziertes Produkt im Vergleich zur Referenz. Das Sternchen kennzeichnet ein signifikantes Optimierungspotenzial.

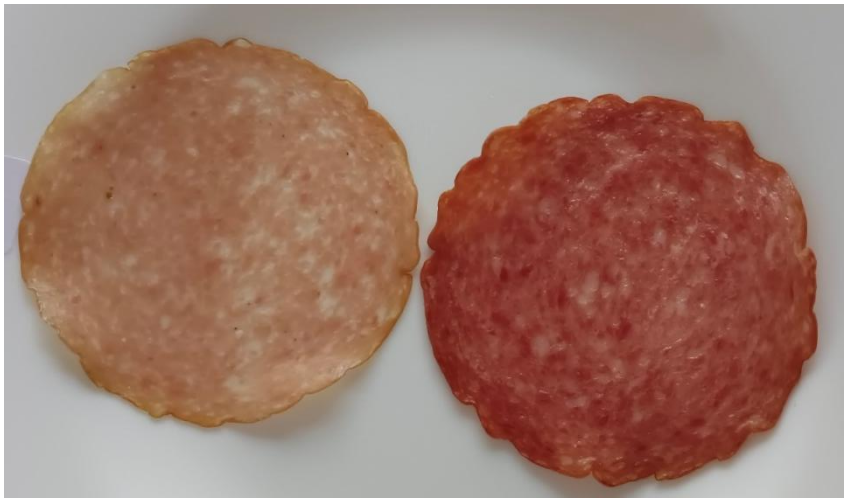


Abb. 21: Vergleichsproben im Paarweisen Akzeptanztest, Referenz links, neue reduzierte Variante rechts.

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen aus sensorischer Sicht:

Die sensorischen Untersuchungen bestätigten, dass reduzierte Varianten in den meisten Fällen hoch akzeptiert und teilweise sogar präferiert werden können. Die mikrobiologische Sicherheit und der Reifefortschritt blieben trotz NPS- und Salzreduktion gewährleistet.

- **Akzeptanztreiber**: Eine würzige Gesamtbalance, die Textur/Biss und (bei Scheibenware) die Fettigkeitswahrnehmung sind entscheidende Treiber der Akzeptanz.
- **Optimierung**: Eine leichte Anhebung der Würzigkeit und eine Reduktion der Fettigkeit (insbesondere bei geschnittenen Varianten) können die Beliebtheit messbar steigern. Die Salzigkeit war überwiegend "just about right" oder weniger dominierend als erwartet.
- **Format-Effekt**: Das Produktformat und die Darreichung (geschnitten vs. im Stück) prägen die Wahrnehmung und können Attribute wie Fettigkeit oder Biss verschieben. Sensorikpläne sollten dies explizit berücksichtigen.
- **Methodische Robustheit**: Die Kombination aus Home-Use-Tests für alltagsnahe Akzeptanz und Labor-Präferenztests für statistisch abgesicherte Vergleiche hat sich bewährt und liefert handlungsfähige Optimierungsvorschläge.
- **"Healthier Reformulation"**: Erfolgreiche Reformulierungen gleichen sensorische Nebenwirkungen (z.B. weniger Salz) durch ein angepasstes Gewürzprofil, Texturführung und Fett-Perzeption aus, anstatt zu höheren NPS/Salzlevels zurückzukehren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die gezielte Reduktion von Salz und Nitrit in Fleischprodukten sensorisch sehr gut umsetzbar ist, wenn die Produktentwicklung von einer fundierten sensorischen Analyse begleitet wird, die sowohl die Produktkategorie als auch die Konsument*innen-Erwartungen berücksichtigt.

5. Erforschung Alternativen zu Salz und Nitrit

Ein umfassender Überblick

Das Arbeitspaket zur Erforschung von Alternativen zu Salz und Nitrit war ein zentraler Bestandteil des Projekts „Cleaner Meat". Ziel war es, praktikable und rechtssichere Strategien zur Reduktion dieser kritischen Inhaltsstoffe in Fleischerzeugnissen zu identifizieren und zu bewerten. Unser technologischer Partner Innov8 spielte hierbei eine Schlüsselrolle, indem er einen detaillierten Leitfaden erarbeitete und die Funktionalität verschiedener Alternativen im Technikum untersuchte.

Forschungsjahr 1: Erste Sondierungen und rechtliche Weichenstellungen

Im ersten Projektjahr konzentrierten sich die Aktivitäten auf das Sammeln und den Austausch erster Informationen zu potenziellen Salz- und Nitritalternativen. Es wurden Spezifikationen und Datenblätter verschiedener Produkte gesichtet und im Konsortium

diskutiert. Bereits zu diesem frühen Zeitpunkt zeichnete sich eine wichtige rechtliche Entwicklung ab: Ein neuer Entwurf zur EU-Zusatzstoffverordnung (EG) Nr. 1333/2008 stellte klar, dass Nitrat/Nitrit, das über Alternativprodukte in Fleischwaren eingebracht wird, dem über Nitritpökelsalz (NPS) eingebrachten Nitrat/Nitrit gleichgesetzt wird. Dies bedeutet, dass die festgelegten Zugabe- und Restmengen unabhängig von der Quelle sind. Diese Erkenntnis hatte weitreichende Auswirkungen auf die Bewertung und Auswahl von Alternativprodukten, da sie viele der damals diskutierten "versteckten" Nitritquellen rechtlich infrage stellte.

Forschungsjahr 2: Entwicklung eines Leitfadens und erste Bewertungen

Im zweiten Projektjahr wurde gemeinsam mit dem technologischen Partner Innov8 ein umfassenden Leitfaden zu Strategien der Natrium- und Nitritreduktion in Fleischerzeugnissen ausgearbeitet. Dieser Leitfaden untersuchte Technologien, Produkte sowie praktische und rechtliche Herausforderungen des Einsatzes. Neben der theoretischen Aufarbeitung wurden im Technikum auch erste Praxisversuche zur Funktionalität der Produkte durchgeführt.

Die Bewertung der Alternativen umfasste:

- **Technologische Funktionen von Natriumchlorid (NaCl)**: Salz erfüllt in Fleischerzeugnissen vielfältige Aufgaben, darunter Geschmacksgebung, Wasserbindung, Konservierung (durch aW-Wert-Absenkung) und Texturgebung.
- **Strategien zur Salzreduktion**:
    - **Schrittweise Reduzierung ("Reduction by stealth")**: Eine graduelle Absenkung des Salzgehalts, die vom Konsumenten kaum wahrgenommen wird. Nachteilig sind der lange Umsetzungszeitraum und potenzielle Haltbarkeitseinbußen.
    - **Verwendung von Salzalternativen**: Hierzu zählen andere Mineralsalze (z.B. Kaliumchlorid), die jedoch oft metallische oder bittere Off-Flavours aufweisen können, sowie Geschmacksverstärker (z.B. Hefeextrakt, Aminosäuren), die den Geschmacksverlust kompensieren sollen.

Commercially available products to help sodium reduction in the food sector. . Not available information is indicated as NA.

Product	Supplier	Composition	Commercial claims
Metallic salt			
Potassium chloride	Multiple	KCl	50% sodium reduction when mixed with NaCl
Potassium lactate	Multiple	$C_3H_5KO_3$	More than 25% sodium reduction
Calcium chloride, magnesium chloride, and magnesium sulphate	Multiple	$CaCl_2$, $MgCl_2$, and $MgSO_4$	30% sodium reduction when mixed with NaCl
Salt reducer			
Low-So Salt	Malabar	Modified potassium chloride, rice flour	42% French fries, sodium replacement and in ham a 25% reduction
Alberger® Brand flake salt	Cargill	Sodium chloride in crystal shape	High solubility. Salty taste even in small amount
KcLean™Salt	Wixon	Proprietary ingredient, sodium chloride and potassium chloride	Up to 50% reduction
Kalisel	Kali	Potassium chloride	Up to 30% reduction
Salt Trim®, Salt Trim® Plus, Sea Salt Trim®	Wild Flavours Inc.	NA	Up to 50% removal of salt.
Lacto optitaste	Armor Proteines	Milk mineral blend	Based on the product 20–30% less sodium.
Pansalt®	Oriola	Sodium chloride, Potassium chloride, magnesium sulphate and Lysine hydrochloride	100% substitution leading to a ≈77% reduction in sodium
Sub4salt®	Jungbunzlauer	Sodium gluconate, sodium chloride, potassium chloride.	100% substitution, leads to a 35% reduction in sodium. Degree of substitution depends on product.
Saltwise™	Cargill	NA	25-50% reduction in sodium dependent on the product.
ImpaQ	Quest	NA	NA
Lite Salt™	Morton®	Salt and potassium chloride blend, iodide and a free-flowing agent	Contains 50% less sodium
Mycoscent	S black	Derived from myco- protein.	Up to 50% reduction in salt for snack food products, a 20–40% reduction in savoury dishes.
Salt replacer			
Dr Lohmann's premix salt replacer	Dr PaulLohmann®	NA	100% replacement for direct usage and up to 50% reduction in sodium levels.
AlsoSalt	Also salt	Potassium chloride and lysine	100% replacement, 100% reduction in sodium
Nu-Tek's modified potassium chloride	Nu-tek products	Modified potassium chloride	NA
Soda-Lo	Eminate	Sodium chloride, gum arabic	Up to 50% reduction in non- physically modified salt.
Zalt	PTX food corp.	Sea salt, natural flavouring, sodium silicate and magnesium carbonate.	50% less sodium with 100% replacement of salt
NeutralFres	Prime favorites, Inc.	Potassium chloride blend	2% NeutralFres can reduce/eliminate sodium
Maxarome pure	DSM	Yeast extract	Up to 50% salt reduction
KojiAji	forum products Ltd	Fermented wheat protein, yeast extract and maltodextrin.	NA
Magnifique™ salt-away	Wixon	NA	Masks bitterness of potassium chloride when use 0.10 –0.30%.
Flavour enhancer			
Super YE	Forum products Ltd,	Yeast extract, maltodextrin and salt.	NA
Fonterra savoury powder	Fonterra	NA	Up to a third sodium reduction
Magnifique™ mimic	Wixon	NA	Reduces the metallic character of potassium-based salt substitutes.
Savor crave	Wild flavours	NA	NA
UnSal20	Ungerer & company	NA	NA
Seagreens® organic mineral salt	Seagreens®	50% *Ascophyllum nodosum* wrack seaweed and 50% sea salt	100% substitution with salt leading to a 50% reduction in sodium intake
Sense capture salt	Mane	NA	Full salty taste: salt impact plus enhancer effect

Abb. 22: Kommerziell erhältliche Produkte zur Natriumreduzierung im Lebensmittelbereich (Inguglia et al., 2017). Nicht erhältliche Information wurde durch NA angeben.

- **Modifizierung der Salzkorngröße und -form**: Kleinere oder speziell geformte Salzkristalle, wie in *Abb. 23* ersichtlich, können die wahrgenommene Salzigkeit erhöhen, wodurch weniger Salz benötigt wird. Ein Beispiel hierfür ist ein Produkt, das Standard-Salzkristalle in hohle Mikrosphären umwandelt.

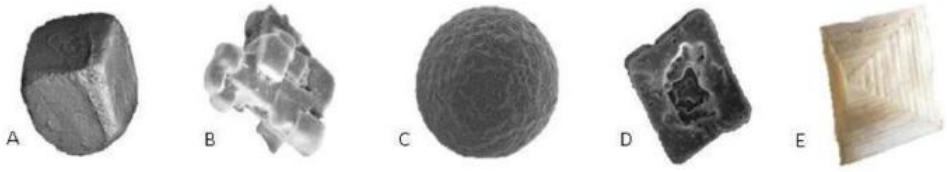


Abb. 23: Modifizierte Formen von Salzkristallen. A) Normales Tafelsalz B) Cargill Alberger Fine Flake Salt. C) Tate Lyle SODA-LO Salt Microspheres. D) Cargill Star Flake Dendritic Salt. E) Cargill, Alberger Flake Salt.

- **Alternative Prozesstechnologien**: Methoden wie Hochdruckbehandlung (HPP) oder Ultraschallbehandlung können ebenfalls zur Reduktion beitragen, sind aber oft noch in der Forschungsphase oder mit technologischen Einschränkungen verbunden.

- **Technologische Funktionen von Nitrat/Nitrit**: Nitrit ist multifunktional und essenziell für mikrobielle Stabilität (insbesondere Botulismus-Prävention), Reduktion von Fett- und Proteinoxidation, Pökelfarbe und Pökelaroma.

- **Strategien zur Nitritreduktion**:

  - **Einsatz von fermentierten Pflanzenextrakten/-pulvern**: Natürliche Nitrate aus Gemüse (z.B. Sellerie, Mangold) werden durch Mikroorganismen zu Nitrit umgewandelt. Der Einsatz ist jedoch in Europa rechtlich umstritten, da die EU-Kommission diese als Zusatzstoffe einstuft, wenn sie eine technologische Funktion erfüllen.

  - **Einsatz von organischen Säuren**: Diese können die mikrobielle Stabilität erhöhen und die Farbentwicklung unterstützen.

  - **Anwendung des Hürdenprinzips**: Die Kombination mehrerer Techniken (z.B. pH-Wert-Kontrolle, aW-Wert-Management, Einsatz von Starterkulturen) ermöglicht eine Reduktion des Nitritgehalts bei gleichbleibender Sicherheit.

  - **Neue Technologien (Emerging Technologies)**: Hochdruckbehandlung (HPP), atmosphärisches Plasma (AP) und gepulste elektrische Felder (PEF) werden als vielversprechende, aber noch nicht breit etablierte Ansätze erforscht.

Forschungsjahr 3: Rechtliche Klärung und praktische Handlungsempfehlungen

Im dritten Projektjahr wurden die Erkenntnisse aus den Vorjahren konsolidiert und der Leitfaden weiter präzisiert, insbesondere unter Berücksichtigung der komplexen rechtlichen Situation.

- **Rechtliche Einordnung**: Der Ständige Ausschuss für Pflanzen, Tiere, Lebensmittel und Futtermittel der Europäischen Kommission (SCPAFF) bestätigte 2018, dass Pflanzenextrakte, die eine technologische Funktion (z.B. als Konservierungs- oder Farbstabilisator) erfüllen, als Lebensmittelzusatzstoffe gelten und entsprechend zugelassen und gekennzeichnet werden müssen. Dies führte zu einer restriktiven Praxis in Deutschland und Österreich.
- **Praxisnähe und Priorisierung**: Aufgrund dieser Rechtslage wurde der Fokus von breit angelegten Nitrit-Ersatzversuchen auf die optimierte Starterkulturführung (Nitrat → Nitrit) innerhalb zulässiger Limits und die NaCl-Reduktion mit Geschmacksverstärkern verlagert. Selektive Technikumsprüfungen zur sensorischen Kompensation (Würze/Umami, Textur) und aW-Führung wurden durchgeführt.
- **Ergebnisse zur Natriumreduktion (praktikabel)**:
  - **Kaliumchlorid-basierte Systeme mit Maskierung**: Eine Reduktion von 30–40 % Natrium ist technisch erreichbar. Sensorische Bitterkeit kann durch Aromen kompensiert werden (z.B. ein spezifischer K-Booster).
  - **Umami-Booster (z.B. Tomatenkonzentrat)**: Erhöhen die Salzwahrnehmung, ersetzen aber nicht die aW- oder Textur-Funktion von Salz. Eine Kombination mit Basis-NaCl ist notwendig.
  - **Partikel-/Kristall-Engineering (z.B. Mikrosphären)**: Erhöhen die "wahrgenommene Salzigkeit", sind aber in Fleischerzeugnissen nur begrenzt anwendbar.

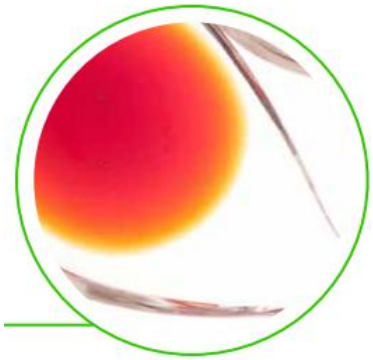


Abb. 24: Sante MS Liquid®: Salzalternative auf Tomatenkonzentratbasis.

- **Ergebnisse zur Nitritreduktion (komplex und rechtlich heikel)**:
  - **Fermentierte Gemüseextrakte (z.B. aus Mangold oder Selleriesaft)**: Zeigen chemisch identische Nitrit-Wirkung, werden aber EU-rechtlich als Zusatzstoffe eingestuft, was Kennzeichnung und Verkehrsfähigkeit problematisch macht.
  - **Frucht-/Gewürzextrakte mit Ascorbinsäure (z.B. ein spezifisches T-10 Produkt)**: Besitzen starke Farb- und Antioxidationswirkung. Analysen zeigten teilweise Nitritnachweise, was zu Rechts- und Deklarationsrisiken führen kann.
  - **Pflanzliche Kombinationen (z.B. ein spezifisches N-plus Produkt)**: Leistungsversprechen bezüglich Farbe und Geschmack. Der Einsatz von Essig oder Acerola kann jedoch ebenfalls Additiv-/Aromen-Grenzfälle berühren.
  - **Hürdenkonzept und Reduktionsstrategie**: Die schrittweise Nitritsenkung in Kombination mit optimierter Starter-/Prozessführung (pH, aW, Antioxidantien) ist derzeit der rechtssicherste Weg.

Abb. 25: PreNat®: Granatapfelschalpulver mit antimikrobiellen und antioxidativen Eigenschaften.

Handlungsempfehlungen und Fazit

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket haben klar gezeigt, dass die Natriumreduktion kurzfristig praxistauglich ist, während die Nitritreduktion komplex und rechtlich heikel bleibt.

- **Kurzfristig (rechtssicher)**: Eine Reduktion von 30–40 % NaCl kann durch Kaliumchlorid-basierte Systeme mit Maskierung (z.B. ein spezifischer K-Booster) in Kombination mit Umami-Boostern (z.B. Tomatenkonzentrat) realisiert werden. Dabei müssen produktspezifisch Textur und aW-Wert kontrolliert werden.
- **Mittelfristig**: Nitrit sollte schrittweise reduziert und das Hürdenkonzept (Starterkulturen, pH, aW, Antioxidantien) gezielt eingesetzt werden.

- **Nur nach Rechtsprüfung**: Der Einsatz von fermentierten Pflanzenextrakten oder anderen komplexen pflanzlichen Systemen sollte nur nach einer klaren rechtlichen Prüfung erfolgen, um Zulassungs-, Kennzeichnungs- und Verkehrsfähigkeitsrisiken zu vermeiden.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse betonen, dass „nitritfreie" Ansätze, die lediglich die direkte Zugabe von Nitrit umgehen, aber dennoch die wirksame Substanz im Produkt enthalten, kritisch zu betrachten sind und als Irreführung der Konsument*innen gewertet werden können.

6. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Wegweiser für eine zukunftsfähige Fleischwarenproduktion

Das Projekt „Cleaner Meat" hat über drei Forschungsjahre hinweg einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung gesünderer und sichererer Fleischwaren geleistet. Die zentrale Erkenntnis ist, dass eine signifikante Reduktion von Salz und Nitritpökelsalz (NPS) in vielen Produktkategorien nicht nur möglich, sondern auch erfolgreich umsetzbar ist, ohne dabei Kompromisse bei der Lebensmittelsicherheit oder der sensorischen Akzeptanz eingehen zu müssen. Dies ist ein Paradigmenwechsel, der die Branche befähigt, den steigenden Anforderungen an gesündere Produkte gerecht zu werden.

Produktspezifische Erkenntnisse und Potenziale

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Reduktionsstrategien produktspezifisch angepasst werden müssen, um optimale Ergebnisse zu erzielen:

- **Rohwurstspezialitäten**: Hier konnten die ambitioniertesten Reduktionsziele erreicht werden. Eine Reduktion des Salzes um bis zu 25 % und des Nitrits auf 40 mg/kg NO_2-Ionen (sogar 50 % des neuen gesetzlichen Zielwerts von 80 mg/kg) übertraf die ursprünglichen Erwartungen. Die mikrobiologische Sicherheit blieb dabei nicht nur gewährleistet, sondern zeigte sich in einigen Fällen sogar verbessert, beispielsweise durch eine schnellere Eliminierung von *VTEC*. Dies ist maßgeblich dem gezielten Einsatz adaptierter Starterkulturen wie *Lactobacillus sakei* und *Staphylococcus carnosus* zu verdanken, die durch ihre Nitratreduktaseaktivität und einen beschleunigten pH-Wert-Abfall entscheidend zur Stabilität beitragen.

- **Brühwurstprodukte**: Bei dieser Produktgruppe war eine NPS-Reduktion von bis zu 30% erfolgreich umsetzbar. Hier zeigte sich, dass die **Verpackungsatmosphäre**, insbesondere CO_2-haltiges Schutzgas, der primäre Faktor für die mikrobiologische Sicherheit ist, während der nominelle NPS-Wert eine untergeordnete Rolle spielt. Ein kritischer Punkt ist die Rekontamination beim Slicen, nicht der Erhitzungsschritt. Technologische Parameter wie der aW-Wert blieben stabil.

- **Langgereifte und großkalibrige Wurstprodukte**: Diese Kategorie stellte die größten Herausforderungen dar. Obwohl sensorisch gut bewertete, reduzierte Varianten entwickelt werden konnten, sind hier weitere gezielte Forschungsarbeiten zur Validierung der mikrobiologischen Sicherheit, insbesondere hinsichtlich

Sporenrisiken (mittels vertiefender Challenge- und Stresstests), sowie zur Absicherung der Verpackungslösungen erforderlich. Sensorische und technologische Abweichungen, wie Textur- oder Farbprobleme, traten bei höheren Reduktionsgraden auf und erfordern produktspezifische Anpassungen.

Sensorik: Genuss neu definiert

Die sensorischen Untersuchungen, insbesondere die umfassenden Konsument*innen-Tests im dritten Projektjahr, bestätigten eine hohe Akzeptanz der reduzierten Rezepturen. Dies ist ein klares Signal, dass "weniger Salz" nicht gleich "weniger Genuss" bedeuten muss.

- **Akzeptanztreiber**: Eine ausgewogene Würzigkeit, die Textur und (bei geschnittenen Produkten) die Fettigkeitswahrnehmung sind entscheidende Faktoren für die Konsument*innen-Akzeptanz.
- **Optimierungspotenziale**: Leichte Anpassungen der Würzigkeit und eine Reduktion der wahrgenommenen Fettigkeit (insbesondere bei geschnittenen Varianten) können die Beliebtheit weiter steigern. Die Salzigkeit wurde oft als "gerade richtig" empfunden oder war weniger dominant als erwartet.
- **Format-Effekt**: Die Darreichungsform (geschnitten vs. im Stück) beeinflusst die Wahrnehmung von Attributen wie Fettigkeit und Biss, was bei der Produktentwicklung und Sensorikplanung berücksichtigt werden sollte.

Alternativen zu Salz und Nitrit: Pragmatismus und Rechtssicherheit

Die Erforschung von Alternativen zu Salz und Nitrit offenbarte unterschiedliche Realisierungschancen:

- **Salzalternativen**: Hier gibt es bereits praktikable Lösungen. KCl-basierte Systeme in Kombination mit Maskierungsaromen und Umami-Boostern ermöglichen eine Natriumreduktion von 30–40 % ohne signifikanten Qualitätsverlust. Wichtig ist jedoch, die Auswirkungen auf die technologischen Basisfunktionen des Salzes (z.B. Wasserbindung, aW-Wert) im Auge zu behalten.
- **Nitritalternativen**: Der vollständige Ersatz von Nitrit durch pflanzliche Systeme ist aufgrund der aktuellen EU-Rechtslage komplex und rechtlich heikel. Pflanzenextrakte, die eine technologische Funktion (z.B. als Konservierungs- oder Farbstabilisator) erfüllen, werden als Zusatzstoffe eingestuft und unterliegen strengen Zulassungs- und Kennzeichnungspflichten. "Nitritfreie" Vermarktungen, die faktisch über färbende Pulver Nitrat/Nitrit einbringen, sind als irreführend zu betrachten.

Handlungsempfehlungen für die Branche: Do's and Don'ts

Um die gewonnenen Erkenntnisse erfolgreich in die Praxis zu überführen, empfehlen wir folgende Leitlinien:

Do's:

- **Schrittweise Reduktion als Standard**: Beginnen Sie mit einer moderaten, schrittweisen Reduktion von Salz und Nitrit. Dies ermöglicht eine Anpassung der Konsument*innen an neue Geschmacksprofile und minimiert technologische Risiken.
- **Starterkulturen gezielt einsetzen**: Nutzen Sie moderne Starterkulturen, insbesondere solche mit Nitratreduktaseaktivität, um die mikrobiologische Sicherheit zu gewährleisten und die sensorischen Eigenschaften positiv zu beeinflussen. Dies ist ein Schlüssel für die Reduktion von Nitrit.
- **Verpackung und Hygiene optimieren**: Für Brühwürste ist eine CO_2-haltige Schutzgasverpackung und eine strikte Hygiene, insbesondere beim Slicen, entscheidend für die Sicherheit. Integrieren Sie diese Aspekte fest in Ihre CCP-Konzepte.
- **Sensorische Kompensation planen**: Bei der Reduktion von Salz und Nitrit ist es unerlässlich, sensorische Einbußen durch eine gezielte Feinabstimmung des Gewürzprofils, der Textur und der Fettigkeitswahrnehmung auszugleichen. Eine "Spice-Up-Strategie" kann hier Abhilfe schaffen.
- **Produktspezifische Validierung**: Führen Sie für jede Produktkategorie und jede Rezepturanpassung umfassende Differentialanalysen, Challengetests und gegebenenfalls Stresstests durch, um die mikrobiologische Sicherheit und sensorische Akzeptanz wissenschaftlich abzusichern.
- **Rechtliche Prüfung von Alternativen**: Bevor Sie neue Alternativstoffe einsetzen, klären Sie deren rechtlichen Status und die erforderliche Deklaration sorgfältig ab. "Recht zuerst, Technik danach" ist hier die Devise.

Don'ts:

- **Nicht nur auf den NPS-Wert verlassen**: Die Sicherheit von Fleischprodukten ist ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Faktoren (Hürdenkonzept). Eine alleinige Fokussierung auf den NPS-Wert kann trügerisch sein.
- **Irreführende "nitritfreie" Claims vermeiden**: Seien Sie kritisch gegenüber Ansätzen, die zwar kein direktes Nitrit hinzufügen, aber über pflanzliche Extrakte Nitrat/Nitrit in das Produkt einbringen. Diese sind rechtlich problematisch und können Konsument*innen irreführen.
- **Sensorik nicht vernachlässigen**: Eine rein technische Reduktion ohne Berücksichtigung der sensorischen Auswirkungen wird langfristig nicht von den Konsument*innen akzeptiert.
- **Keine Einheitslösungen für alle Produkte**: Großkalibrige und langgereifte Produkte erfordern aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften und Reifeprozesse maßgeschneiderte Lösungen und weitere Forschung.

6.5 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse des Projekts „Cleaner Meat" bilden eine solide Grundlage, zeigen aber auch auf, wo weiterer Forschungsbedarf besteht, um die Fleischwarenproduktion noch nachhaltiger und gesünder zu gestalten:

- **Nitratreduktasen in Starterkulturen**: Die weitere Erforschung und Optimierung der Wirkung von Nitratreduktasen in Starterkulturen birgt das Potenzial für eine vollständige nitritfreie Produktion.
- **Optimierung von Kulturenkombinationen und Vorreife**: Eine Feinabstimmung dieser Parameter kann die Reduktionspotenziale weiter ausschöpfen.
- **Erweiterung des Produktportfolios**: Untersuchungen zu Rohpökelwaren (z.B. Speck), weiteren Dauerwaren (z.B. Cabanossi) und technologisch anspruchsvollen Brühwürsten (z.B. Kochschinken) sind notwendig.
- **Prozessoptimierung und natürliche Farbstabilisatoren**: Die Entwicklung neuer Prozessstrategien und natürlicher Alternativen zur Farbstabilisierung ist ein vielversprechendes Feld

7. Beitrag zur Nachhaltigkeit

Das Projekt „Cleaner Meat" leistet einen signifikanten Beitrag zu mehreren Nachhaltigkeitszielen:

- **Gesundheit (SDG 3)**: Durch reduzierte Salz- und Nitritgehalte bei gleichbleibender Sicherheit und Akzeptanz wird das Risikoprofil für Konsument*innen gesenkt und die Auswahl für vulnerable Gruppen erweitert.
- **Ökologie (SDG 12)**: Weniger Ausschuss und Retouren durch frühzeitige Sicherheits- und Sensorikabsicherung sowie stabilere Haltbarkeiten tragen zur Reduzierung von Lebensmittelverlusten bei.
- **Ökonomie (SDG 9)**: Die Ergebnisse stärken die Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz der heimischen Fleischwarenindustrie durch gesundheitsorientierte, rechtssichere Reformulierungen und Know-how-Transfer.

Für detailliertere Informationen zu den einzelnen Strategien und Produkten verweisen wir zudem auf den umfassenden **Leitfaden "Strategien der Natrium- und Nitritreduktion in Fleischerzeugnissen – Bewertung von möglichen Ersatzstoffen"**, der im Rahmen dieses Projekts erstellt wurde.

Referenzen

[1] Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32006R1924 [Zugriff am 23.09.2025].

[2] Verordnung (EU) 2023/2108 der Kommission vom 6. Oktober 2023 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie des Anhangs der Verordnung (EU) Nr. 231/2012 der Kommission in Bezug auf die Lebensmittelzusatzstoffe Nitrite (E 249-250) und Nitrate (E 251-252), Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302108 [Zugriff am 23.09.2025]