

Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökötrophologie und Landschaftsentwicklung

BACHELORARBEIT

Entwicklung von Prototypen aus Bambara-Erdnüssen (*Vigna subterranea L.*) mittels Feststofffermentation und deren sensorischer Analyse

vorgelegt von: Simke Thamm

██████████

██████████

██████████████████

██████████

Studiengang: Ökötrophologie

Semester: 9

Fachbereich: 1

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Wilfried Rozhon

2. Gutachter: Herr Robert Hanauska

Datum der Abgabe: 10.03.2025

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis | 5 |
| Tabellenverzeichnis | 8 |
| Abkürzungsverzeichnis | 9 |
| Zusammenfassung | 10 |
| 1. Einleitung | 11 |
| 1.1 Problemstellung | 11 |
| 1.2 Zielstellung..... | 13 |
| 2. Theoretischer Teil | 14 |
| 2.1 Bambara-Erdnuss (<i>Vigna subterranea L.</i>)..... | 14 |
| 2.1.1 Anbau und Konsum der Bambara-Erdnuss in Afrika..... | 14 |
| 2.1.4 Konsumbarrieren der Bambara-Erdnuss..... | 15 |
| 2.2 Feststofffermentationen für die Lebensmittelherstellung..... | 17 |
| 2.2.1 Einflussfaktoren einer Feststofffermentation | 19 |
| 2.2.3 Stoffumwandlungsprozesse bei Leguminosen | 21 |
| 2.3 Bedeutung der Lebensmittelsensorik..... | 22 |
| 3. Geräte und Materialien | 23 |
| 4. Methode | 24 |
| 4.1 Versuchsablauf | 24 |
| 4.2 Arbeitsbedingungen und Probenvorbereitungen..... | 26 |
| 4.3 Herstellung der Sporensuspensionen | 26 |
| 4.4 Voruntersuchung..... | 28 |
| 4.4.1 Hedonische Methode | 28 |
| 4.4.2 Tempeh-Vorversuche mit <i>Rhizopus oligosporus</i> | 29 |
| 4.4.3 Natto-Vorversuche mit <i>Bacillus subtilis var. natto</i> | 29 |
| 4.4.4 Koji-Vorversuche mit <i>Aspergillus awamori</i> | 31 |
| 4.4.5 Koji-Vorversuch mit <i>Aspergillus oryzae</i> | 31 |
| 4.5 Hauptuntersuchung..... | 32 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.5.1 | Attributauswahl..... | 32 |
| 4.5.2 | Probenvorbereitung..... | 33 |
| 4.5.3 | Sensorische Methoden | 33 |
| 4.6 | Statistische Auswertung..... | 35 |
| 4.6.1 | Auswertung der hedonischen Voruntersuchungen..... | 35 |
| 4.6.2 | Auswertung der hedonischen Hauptuntersuchungen..... | 35 |
| 4.6.3 | Auswertung der deskriptiven Hauptuntersuchungen | 36 |
| 5. | Ergebnisse der Vor- und Hauptuntersuchung..... | 36 |
| 5.1. | Auswertung der Vorversuche..... | 36 |
| 5.1.1 | Tempeh-Vorversuche mit <i>Rhizopus oligosporus</i> | 37 |
| 5.1.3 | Natto-Vorversuche mit <i>Bacillus subtilis var. natto</i> | 40 |
| 5.1.2 | Koji-Vorversuche mit <i>Aspergillus awamori</i> | 43 |
| 5.1.4 | Koji-Vorversuch mit <i>Aspergillus oryzae</i> | 45 |
| 5.1.5 | Fazit der Vorversuche | 46 |
| 5.2 | Auswertung der Hauptversuche..... | 47 |
| 5.2.1 | Vergleich der Attributintensitäten von Tempeh-Prototypen und Standard | 48 |
| 5.2.2 | Vergleich der Attributintensitäten von Natto-Prototypen und Standard | 52 |
| 5.2.3 | Gesamtbeliebtheit des Geschmacks und Textur aller Produkte | 54 |
| 5.2.4 | Penalty Analyse | 57 |
| 5.2.4.1 | Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Tempeh- Pur..... | 58 |
| 5.2.4.2 | Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Tempeh-Gebraten | 62 |
| 5.2.4.3 | Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Natto-Pur | 65 |

| | |
|--|----|
| 5.2.4.4 Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Natto-Geröstet..... | 69 |
| 6. Diskussion..... | 72 |
| 6.1 Voruntersuchungen..... | 72 |
| 6.2 Hauptuntersuchungen..... | 75 |
| 6.2 Vorausblick | 78 |
| 7. Fazit..... | 79 |
| Literaturverzeichnis..... | 82 |
| Anlagenverzeichnis..... | 92 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1 Versuchsplan der Voruntersuchung | 25 |
| Abb. 2 Versuchsplan der Hauptuntersuchung | 25 |
| Abb. 3 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Tempeh-Vorversuche mit <i>Rhizopus oligosporus</i> , (n = 5)..... | 37 |
| Abb. 4 Endprodukt des Tempeh-Versuchs 1 mit <i>Rhizopus oligosporus</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 38 |
| Abb. 5 Endprodukt des Tempeh-Versuchs 3a mit <i>Rhizopus oligosporus</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 39 |
| Abb. 6 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Natto-Vorversuche mit <i>Bacillus subtilis var. natto</i> , (n = 5)..... | 40 |
| Abb. 7 Endprodukt des Natto-Versuchs 1 mit <i>Bacillus subtilis var. natto</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 41 |
| Abb. 8 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Koji-Vorversuche mit <i>Aspergillus awamorie</i> , (n = 5)..... | 43 |
| Abb. 9 Endprodukt des Koji-Versuchs 1 mit <i>Aspergillus awamori</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 44 |
| Abb. 10 Endprodukt des Koji-Versuchs 2 mit <i>Aspergillus awamori</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 44 |
| Abb. 11 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Koji-Vorversuch mit <i>Aspergillus oryzae</i> , (n = 5)..... | 45 |
| Abb. 12 Endprodukt des Koji-Versuchs mit <i>Aspergillus ozyzae</i> (Eigene Aufnahme, 2024)..... | 46 |
| Abb. 13 Mittelwerte des beliebtesten Vorversuches je Starterkultur im Rahmen der Voruntersuchungen, (n = 5)..... | 46 |
| Abb. 14 Intensitäts-Mittelwerte der Geschmacks-Attribute von den Tempeh- Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)... | 48 |
| Abb. 15 Intensitäts-Mittelwerte der Nachgeschmacks-Attribute von den Tempeh- Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)... | 49 |
| Abb. 16 Intensitäts-Mittelwerte der Texturattribute von den Tempeh-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). | 50 |
| Abb. 17 Intensitäts-Mittelwerte der Geschmacks-Attribute von den Natto- Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)... | 52 |

| | |
|---|----|
| Abb. 18 Intensitäts-Mittelwerte der Nachgeschmacks-Attribute von den Natto-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)... | 53 |
| Abb. 19 Intensitäts-Mittelwerte der Texturattribute von den Natto-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)..... | 54 |
| Abb. 20 Beliebtheitsbewertungen mit Mittelwerten (rote Kreuze) des Gesamtgeschmacks der Produkte (links) und die zentrierten Mittelwerte (rechts), (n = 9)..... | 55 |
| Abb. 21 Beliebtheitsbewertungen mit Mittelwerten (rote Kreuze) der Gesamttextur der Produkte (links) und die zentrierten Mittelwerte (rechts), (n = 9)..... | 56 |
| Abb. 22 Prozentuale Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)..... | 58 |
| Abb. 23 Mean drops der Geschmacksattribute von Tempeh-Pur | 59 |
| Abb. 24 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9)..... | 60 |
| Abb. 25 Mean drops der Texturattribute von Tempeh-Pur..... | 61 |
| Abb. 26 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Gebraten im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). | 62 |
| Abb. 27 Mean drops der Geschmacksattribute von Tempeh-Gebraten | 63 |
| Abb. 28 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Gebraten im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). | 64 |
| Abb. 29 Mean drops der Texturattribute von Tempeh-Gebraten..... | 64 |
| Abb. 30 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). | 65 |
| Abb. 31 Mean drops der Geschmacksattribute von Natto-Pur | 66 |
| Abb. 32 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). | 67 |
| Abb. 33 Mean drops der Texturattribute von Natto-Pur | 68 |
| Abb. 34 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Geröstet im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). . | 69 |
| Abb. 35 Mean drops der Geschmacksattribute von Natto-Geröstet..... | 70 |

Abb. 36 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Geröstet im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). .71

Abb. 37 Mean drops der Texturattribute von Natto-Geröstet72

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Verwendete Geräte..... | 23 |
| Tab. 2 Verwendete Starterkulturen | 24 |
| Tab. 3 Sichtbare Kolonien nach 24 h der zwei Agar-Platten pro Verdünnungsstufe | 93 |
| Tab. 4 Sichtbare Kolonien nach 48 h der zwei Agar-Platten pro Verdünnungsstufe | 93 |
| Tab. 5 Attributnennungen von der Attributgenerierung im Geschmack (G), Nachgeschmack (NG) und Mundgefühl (MG) des Trainingspanels..... | 97 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|---|
| ANOVA | Analysis of variance (Deutsch: Varianzanalyse) |
| a_w | Wasseraktivität |
| DIN | Deutsche Industrienorm[en] |
| EN | Europäische Norm[en] |
| GRAS | Generally recognized as safe (Deutsch: Allgemein als sicher anerkannt) |
| ISO | International Organization for Standardization (Deutsch: Internationale Organisation für Normung) |
| JAR | Just-About-Right (Deutsch: Gerade richtig) |
| KbE | Koloniebildende Einheit |
| n.a. | nicht auswertbar |
| SD | Standardabweichung |
| SSF | Solid-State-Fermentation (Deutsch: Feststofffermentation) |
| WHI | Welthungerindex |

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung erster Tempeh-, Natto- und Koji-Prototypen aus Bambara-Erdnüssen (*Vigna subterranea* L.) durch das Verfahren der Feststofffermentation. Die wenig genutzte afrikanische Hülsenfrucht weist einen großen Forschungsbedarf u.a. in der Produktentwicklung auf. Ziel dieser Arbeit war es deshalb, sensorisch akzeptierte Fermentationsprototypen herzustellen, um die Nutzung der Bohnen in Afrika zu steigern.

Als Fermentationskulturen wurden *Rhizopus oligosporus* (Tempeh), *Aspergillus awamori* bzw. *oryzae* (Koji) und *Bacillus subtilis* var. *natto* (Natto) eingesetzt. In ersten Vorversuchen wurden die hergestellten Prototypen mittels hedonischer Mitarbeiterprüfungen nach sensorischer Beliebtheit bewertet und daraufhin durch Anpassungen von Fermentationsbedingungen und Prozessschritten vor und nach der Fermentation sensorisch optimiert.

In der Hauptuntersuchung wurden die beliebtesten Prototypen (Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet) sowie deren pure Fermentationsprodukte mit dem Rohstoff (gekochte Bambara-Bohnen) sensorisch in Geschmacks- und Textur-Attributen verglichen. Dazu fanden hedonische Mitarbeiterprüfungen mittels 9er-Hedonik-Skala sowie Just-About-Right-Skala nach Beliebtheit und deskriptive Prüfungen eines externen Sensorikpanels mittels 11er-Intensitätsskala statt.

Es zeigte sich, dass durch Prozessanpassungen sensorische Verbesserungen erzielt werden konnten. Zudem bewirkten die Fermentationen Intensitätssteigerungen in den meisten Geschmacks-Attributen, der unbeliebte Bohnengeschmack konnte hingegen abgeschwächt werden. Die gerösteten bzw. gebratenen Fermentationsprototypen gefielen den Prüfpersonen, waren in Geschmack und Textur beliebter als ihre puren Fermentationsprodukte und wiesen geringeren Optimierungsbedarf auf. Demzufolge sind weiterführende Entwicklungen des gebratenen Tempehs und des gerösteten Nattos zu empfehlen.

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung von ersten Tempeh-, Natto- und Koji-Prototypen aus Bambara-Erdnüssen (*Vigna subterranea L.*, Familie der *Fabaceae*) durch das Verfahren der Feststofffermentation sowie deren sensorischen Untersuchungen. Im folgenden Kapitel werden die Problem- und die Zielstellung der Arbeit erläutert.

1.1 Problemstellung

Die gegenwärtige globale Agrarwirtschaft steht vor unvermeidlichen Herausforderungen. In Anbetracht des Klimawandels und der steigenden Bevölkerungszahl ist ein Umdenken in der Agrarkultur notwendig, um die Lebensmittels- und Ernährungssicherheit der Menschen gewährleisten zu können (Khan et al. 2021). Der derzeitige Fokus auf eine limitierte Anzahl von Anbaukulturen erhöht das Risiko einer Bedrohung der Lebensmittelsicherheit (Mayes et al. 2019). Die Folgen sind eine eingeschränkte und ernährungsphysiologisch unausgewogene Ernährung, die ernährungsbedingte Krankheiten begünstigen kann (Khan et al. 2021). Diese Problematik betrifft primär Entwicklungsländer, wie z.B. in Afrika, wo Mangelernährung, Hunger und Unterernährung weit verbreitet sind. Schon lange ist dort ein Mangel an einer ausreichenden Energieaufnahme und an essentiellen Mikronährstoffen zu verzeichnen (Lin Tan et al. 2020). Laut der Welthungerhilfe lag der Welthungerindex - zusammengesetzt aus den Faktoren Unterernährung sowie Wachstumsverzögerung, Auszehrung und Sterblichkeit bei Kindern - 2024 in Afrika zwischen 20 und 49,9 und wird als „ernst“ bis „sehr ernst“ eingestuft. Nur Gebiete oberhalb der Sahara und Südafrika wiesen einen geringeren Welthungerindex auf (Wiemers et al. 2024).

Die verbesserte Handelswirtschaft in vielen afrikanischen Ländern führt zu einer Ernährungsumstellung. Diese richtet sich zunehmend weg von traditionellen und hin zu hoch verarbeiteten Lebensmitteln, welche mit ihrem geringen Preis überzeugen. Die erleichterte Zubereitung und der gute Geschmack werden von den Menschen bevorzugt. Im Gegensatz dazu erfordert die Zubereitung traditioneller Nahrungsmittel oft viel Zeit und den Einsatz knapper, teurer

Ressourcen wie Wasser, Strom und Brennstoffen. Der steigende Preis dieser Ressourcen zwingt viele Haushalte auf verarbeitete Lebensmittel zurückzugreifen. Durch die höheren Zucker- und Fettgehalte werden mehr Kalorien, aber weniger Nähr- und Ballaststoffe aufgenommen. Außerdem zieht das eine sinkende Proteinaufnahme nach sich, welche besonders dramatisch für die finanziell schwachen Haushalte ist, da sie keinen Zugang zu teuren tierischen Proteinquellen haben. Vor diesem Hintergrund sind pflanzliche Proteinquellen in Entwicklungsländern von größter Bedeutung, da sie einkommensschwachen Haushalten eine kostengünstige und nährstoffreiche Alternative bieten (Lin Tan et al. 2020; Adebawo et al. 2017). Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Probleme könnte darin bestehen, bislang wenig genutzte und wenig angebaute Kulturen, sogenannte „underutilized crops“ (Deutsch: wenig genutzte Feldfrüchte), stärker in den Fokus zu rücken (Khan et al. 2021).

Die Bambara-Erdnuss gehört zu diesen unterrepräsentierten, aber potenziell wertvollen Feldfrüchten (Mayes et al. 2019). Als bedeutende Quelle für essentielle Aminosäuren stellt sie eine hochwertige Proteinquelle dar (Mazahib et al. 2013). Darüber hinaus ist die Bambara-Erdnuss besser an nährstoffarme Böden und die klimatischen Bedingungen Afrikas angepasst als weit verbreitete Hauptanbaukulturen wie Erdnüsse (*Arachis hypogea*), Mais (*Zea mays*) oder Hirse (*Sorghum bicolor*) (Hillocks et al. 2012). Auch der zunehmende Trend einer vorrangig vegetarischen Ernährung rückt die Bambara-Erdnuss stärker in den Mittelpunkt (Lin Tan et al. 2020). Ein zentraler Forschungsbereich besteht in der Entwicklung von Produkten aus ihren Bohnen (Mazahib et al. 2013).

Für eine erfolgreiche Produktentwicklung ist es entscheidend, sich mit den Hemmfaktoren der Konsumbereitschaft auseinanderzusetzen. Bei Leguminosen wie der Bambara-Erdnuss stellen vor allem die schlechte Verdaulichkeit, ressourcenintensive Zubereitungsmethoden sowie die eingeschränkte Nährstoffqualität aufgrund antinutritiver und antiphysiologischer Substanzen Herausforderungen dar (Khan et al. 2021). Durch verschiedene thermische, physikalische oder biologische Verarbeitungsmethoden können jedoch positive Veränderungen erzielt werden. Insbesondere biologische Verfahren wie Fermentationen bieten im Vergleich zu thermischen oder physikalischen Behandlungen Vorteile, da sie hohe Betriebs- und Arbeitskosten, komplexe Prozessabläufe und den Einsatz moderner Technologien vermeiden. Darüber

hinaus können durch solche Verfahren die sensorischen Eigenschaften des Endprodukts verbessert werden (Tee et al. 2023). Gleichzeitig werden antinutritive und -physiologische Faktoren reduziert. Dadurch kann die Nutzung der Bambara-Erdnuss effektiver gestaltet werden und letztlich zur Verbesserung der Ernährungsbedingungen in afrikanischen Ländern beitragen (Lin Tan et al. 2020).

1.2 Zielstellung

Im Rahmen dieser Arbeit sollen erste Prototypen aus Bambara-Erdnüssen unter Anwendung des Verfahrens der Feststofffermentation in Kombination mit einer gezielten Auswahl an Starterkulturen entwickelt werden. Dazu sollen Herstellungsversuche von Tempeh mit *Rhizopus oligosporus*, von Koji mit *Aspergillus awamori* sowie *Aspergillus oryzae* und von Natto mit *Bacillus subtilis* var. *natto* durchgeführt werden.

Die vielversprechendsten (in der Hedonik am besten bewerteten) Prototypen sowie der Ausgangsstoff, in Form von gekochten Bambara-Erdnüssen, werden anschließend einer sensorischen Analyse unterzogen. Ziel ist es, sensorische Unterschiede der Prototypen gegenüber dem Rohstoff darzustellen und Verbesserungspotenzial der Prototypen zu identifizieren. Das Augenmerk wird auf die Untersuchung der Geschmacks- und Textureigenschaften gelegt.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Grundlage für eine weiterführende Produktentwicklung dienen, die weiterhin auf die Optimierung der sensorischen Eigenschaften abzielt. Langfristig soll so ein sensorisch akzeptiertes Fermentationsprodukt entstehen, das in Afrika zu einer verstärkten Nutzung und Akzeptanz der nährstoffreichen Hülsenfrucht beiträgt und damit einen positiven Einfluss auf die Lebensmittelsicherheit hat.

2. Theoretischer Teil

In dem anschließenden Kapitel werden grundlegende Informationen, die zu einem besseren Verständnis der Arbeit dienen, erläutert.

2.1 Bambara-Erdnuss (*Vigna subterranea* L.)

Zunächst wird ein allgemeiner Überblick über die Bambara-Erdnuss gegeben, insbesondere bezogen auf ihrer Bedeutung in afrikanischen Ländern.

2.1.1 Anbau und Konsum der Bambara-Erdnuss in Afrika

Die Bambara-Erdnuss gehört zur Familie der *Fabaceae* (Hülsenfrüchtler) und zur Unterfamilie der *Faboideae* (Schmetterlingsblütler). Diese robuste, bodennah wachsende Pflanze bildet, ähnlich wie die Erdnuss (*Arachis hypogea* L.), unterirdisch Schoten, die jeweils 1 bis 2 ovale Bohnen enthalten (Mahama 2023). Die Bohnen weisen ein gutes ernährungsphysiologisches Profil auf: Bezogen auf die Trockenmasse liefern sie 64,4 % Kohlenhydrate, einen hohen Proteingehalt (23,6 %), 6,5 % Fett und 5,5 % Ballaststoffe sowie eine Vielzahl an Mineralstoffen darunter Magnesium, Zink, Eisen und Kalium. Diese Mineralien sind in höheren Mengen vorhanden als in anderen Hülsenfrüchten. Aufgrund dieses Nährstoffprofils wird die Bambara-Erdnuss häufig als „Complete Food“ bezeichnet (Lin Tan et al. 2020).

In Afrika zählt die Bambara-Erdnuss nach der Kuhbohne (*Vigna unguiculata* L.) und der Erdnuss (*Arachis hypogea* L.) zu der dritt wichtigsten heimischen Leguminose. Obwohl sie auch in einigen Teilen Asiens angebaut wird, konzentriert sich ihr Hauptanbaugebiet auf den afrikanischen Kontinent. Westafrika stellt hierbei das größte Anbaugebiet dar, aber auch in der Subsaharazone ist sie weit verbreitet (Hillocks et al. 2012). Im Jahr 2021 wurden weltweit etwa 239.607,10 Tonnen Bambara-Bohnen produziert, davon allein 162.361,34 Tonnen in Westafrika (UNdata 2024). Durch ihre hohe Resistenz gegenüber extremen Umweltbedingungen wie nährstoffarmen Böden und langanhaltender Trockenheit ist sie eine zukunftsfähige Feldfrucht, insbesondere für die Gebiete der Subsahara (Udeh et al. 2020). Ihre Fähigkeit, Luftstickstoff zu

binden und im Boden zu fixieren, ermöglicht den Anbau auf, in Afrika weit verbreiteten, stickstoffarmen Böden und verbessert in Kombination mit Getreide und Hackfrüchten die Fruchtfolge. Abwechslungsreiche Fruchtfolgen tragen nicht nur zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bei, sondern steigern auch die Ernteerträge, indem sie Krankheiten und Schädlinge reduzieren. Gleichzeitig werden zusätzliche Kosten für Dünger- und Pflanzenschutzmittel eingespart (Lin Tan et al. 2020).

Der Konsum der Bambara-Erdnuss wird auch mit religiösen und kulturellen Traditionen verbunden (Lin Tan et al. 2020). In Ländern der Subsahara wird die Bohne zur Behandlung bestimmter Krankheiten verzehrt (Udeh et al. 2020).

Generell werden die frischen grünen Bambara-Erdnüsse aufgrund der besseren Textur, des beliebteren Geschmacks und des frischen, grünen Aussehens den getrockneten Bohnen gegenüber bevorzugt und auf lokalen Märkten häufiger nachgefragt (Hillocks et al. 2012).

Konsumiert werden die Bohnen meist nach dem Kochen oder Rösten als Snack, aber auch die Verarbeitung zu Mehl ist typisch. Die Zubereitungsmöglichkeiten der Leguminose variieren je nach Region. In Nigeria wird traditionell „Okpa“, ein Pudding aus Bambara-Mehl mit rotem Palmöl, zubereitet. Bohnenpasten wie „Koose“, „Akara“ oder „Gablee“ sowie Haferbreie sind in vielen afrikanischen Ländern gängige Konsumformen. Zunehmend wird auch der Konsum von pflanzlicher Milch und Joghurt auf Basis der Bambara-Bohne beliebter. Häufig werden die ganzen Bohnen oder deren Mehl mit anderen lokalen Getreidesorten wie Mais oder Hirse kombiniert, um die Bioverfügbarkeit der Proteine zu erhöhen. Die Gehalte der limitierenden essentiellen Aminosäuren Lysin und Tryptophan in Getreidesorten werden durch die Kombination mit Bambara-Erdnüssen erhöht (Lin Tan et al. 2020). Somit sind Bambara-Erdnüsse ideal für Menschen, die sich keine tierischen Proteine leisten können (Mayes et al. 2019).

2.1.4 Konsumbarrieren der Bambara-Erdnuss

Wie bei anderen Hülsenfrüchten sind antinutritive Substanzen wie Tannine, Phytinsäure, Trypsin-Inhibitoren sowie unverdauliche Kohlenhydrate wie Raffinose und Stachyose in der Bambara-Erdnuss enthalten. Diese

Verbindungen verursachen gastrointestinale Beschwerden wie Blähungen und Übelkeit. Des Weiteren verringern sie die Bioverfügbarkeit und damit die Absorption von Proteinen, anderen Kohlenhydraten sowie essentiellen Mikronährstoffen (Senanayake et al. 2023). Besonders Calcium, Magnesium, Zink und Eisen sind davon betroffen (Lin Tan et al. 2020).

Einer der entscheidenden Faktoren für die Akzeptanz von Lebensmitteln ist der Geschmack, der durch die chemische Zusammensetzung von volatilen und nicht-volatilen Verbindungen in einem Lebensmittel bestimmt wird. Für das charakteristische erdige, grasige und adstringierende Mundgefühl sowie für die metallischen und bitteren Geschmacksnoten der Hülsenfrüchte sind vor allem Hexanal, Decanal, Acetate und Butanol (volatile Verbindungen) wie auch Saponine, Isoflavone und Peptide (nicht-volatile Verbindungen) verantwortlich (Senanayake et al. 2023). Insbesondere der Gehalt an Peptide mit hydrophoben Aminosäuren und Saponinen tragen maßgeblich zu dem unbeliebten Bittergeschmack bei (Senanayake et al. 2023). Auch Tannine verstärken die Ausbildung der bitteren, aber auch der adstringierenden Eigenschaften (Lin Tan et al. 2020). Der unerwünschte Bohnengeschmack intensiviert sich ab dem Zeitpunkt der Ernte durch Oxidation ungesättigter Fettsäuren. Die Stärke dieser Attributausprägung ist somit auch vom Verarbeitungsprozesse abhängig (Senanayake et al. 2023).

Sensorische Fehleindrücke und antinutritive Substanzen lassen sich durch entsprechende Verarbeitungsmethoden reduzieren. Verfahren wie Schälen, Einweichen, Kochen und Fermentieren führen zur Verringerung von antinutritiven Substanzen, jedoch auch zu einem Mineralstoffverlust (Lin Tan et al. 2020). Einweichprozesse können bitter schmeckende Stoffe aus dem Substrat ausschwemmen (Tian et al. 2022).

Eine weitere Herausforderung ist der Hard-to-cook-Effekt (HTC), der die Resistenz der Bohnen gegenüber dem Weichwerden beim Kochen beschreibt (Lin Tan et al. 2020). Bei getrockneten Bohnen sind sehr lange Kochzeiten von 3 - 4 Stunden erforderlich, bis sie essbar sind (Khan et al. 2021). Dies führt zu erhöhtem Energie- und Wasserverbrauch. In Regionen, in denen Holz als Brennstoff verwendet wird, stellt dies einen wesentlichen Grund für die Ablehnung des Konsums dar (Lin Tan et al. 2020). Dem gegenüber stehen frische, grüne Bohnen, die bereits nach 45 bis 60 Minuten Kochzeit verzehrbar

sind (Khan et al. 2021). Die Weiterverarbeitung der getrockneten Bambara-Erdnüsse ist durch ihre geringe Mahlbarkeit zu Mehl (Lin Tan et al. 2020) und der schwierigen Schälbarkeit der Bohne herausfordernd (Hillocks et al. 2012). Laut afrikanischen Bauern fehlen geeignete Techniken für diese Verarbeitungsschwierigkeiten (Mazahib et al. 2013). Auch die Unsicherheit im Hinblick auf Verwendung und Zubereitung der Bohnen erschwert die Akzeptanz, weshalb die Entwicklung neuer Rezepte und Produkte eine entscheidende Rolle für die Steigerung des Konsums spielt (Gregory et al. 2019). Diesbezüglich gab es Studien, in denen verschiedenen Produkten Bambara-Erdnüsse zugesetzt wurden. Die meisten verzeichneten jedoch eine Verschlechterung in der Sensorik, vorwiegend im Geschmack (Nwadi et al. 2020).

Zusammenfassend unterstreichen diese Konsumbarrieren die Notwendigkeit weiterer Anstrengungen in der Forschung und Produktentwicklung, um sensorisch akzeptable Produkte herzustellen und der begrenzten Konsumbereitschaft und -ablehnung entgegenzuwirken.

2.2 Feststofffermentationen für die Lebensmittelherstellung

Unter dem Begriff Fermentation werden im Allgemeinen biochemische Stoffumwandlungen durch Mikroorganismen verstanden (Schlee und Kleber 1991). Findet dabei das Mikroorganismenwachstum auf einem festen Substrat in einem Milieu ohne oder mit einem sehr geringen Gehalt an freiem Wasser statt, wird dies als Feststofffermentation (SSF) definiert (Pandey 2003). Die Feuchtigkeit des Substrates beträgt dabei i. d. R. zwischen 30 und 80 %, jedoch mindestens 12 %, da nur bei ausreichender Feuchtigkeit ein Mikrobewachstum und deren Stoffwechselforgänge möglich sind (Böckler F. et al. 2002).

Bereits in der Antike bedienten sich die Menschen dieses Verfahrens zur Lebensmittelherstellung. Heutzutage hat sich das Anwendungsgebiet vergrößert und wird darüber hinaus für die Herstellung von Kraftstoff, Futtermitteln, industriellen Chemikalien oder Pharmazeutika sowie für die Verwertung von Agrarresten verwendet (Pandey 2003).

Im Hinblick auf den industriellen Lebensmittelbereich findet inzwischen ein gezielter Einsatz von Fermentationsverfahren zur Konservierung, Veredlung und Geschmacksverbesserung von Produkten statt (Munk 2018). In westlichen Ländern werden Produkte wie Brot und Käse hergestellt. Aber auch in asiatischen Ländern sind fermentierte Lebensmittel vorzufinden (Soccol et al. 2017).

Natto, hergestellt aus ganzen mit *Bacillus*-Stämmen fermentierten Sojabohnen, ist so ein traditionelles Lebensmittel und zeichnet sich durch die bitteren, süßen und Umami-Geschmacksnoten aus (Elhalis et al. 2023). Die charakteristische klebrige und schleimige Nattooberfläche entsteht durch die γ -Polyglutaminsäure, welche von den Bakterien synthetisiert wird (Rocchi et al. 2024). Das indonesische Fermentationsprodukt Tempeh wird durch die Fermentation von ganzen, geschälten Sojabohnen mit *Rhizopus*-Stämmen hergestellt. Infolge des Myzelwachstums um die Bohnen herum wird ein schnittfester, weißer Produktblock mit einem nussigen und schwach bitteren Geschmack gebildet (Kreutz 2023; Liu 2008). Tempeh wird u.a. in gebratener Form oder aufgrund der fleischähnlichen Textur als Fleischersatz verzehrt (Liu 2008). Auch Koji wird durch Fermentation hergestellt und dient als Zwischenprodukt für die Herstellung von Miso oder Sojasoße. Durch die Fermentation von Reis, Soja oder Weizen mit *Aspergillus oryzae* entstehen unterschiedliche Geschmacksprofile. Koji aus Sojabohnen wurde in einer Studie mit dem Geschmack von Kräckern und Bohnensprossen verglichen (Hong und Kim 2020). Charakteristische Geschmacksnoten von Koji aus Ackerbohnen (*Vicia faba*) sind laut Peng et al. (2023) erdig und pilzig.

Fermentierte Lebensmittel übertreffen ihre ursprünglichen Rohstoffe oft in Bezug auf Haltbarkeit, Verdaulichkeit, Vitamin- und Aromagehalt (Keweloh 2006). Vorteilhaft bei solchen Verarbeitungsverfahren ist zudem, dass es sich um eine nachhaltige Methode handelt, welche ermöglicht, ernährungsphysiologisch wertvolle und ästhetisch ansprechende verzehrfertige Produkte zu erzeugen (Senanayake et al. 2023). Die Möglichkeit organoleptische Verbesserungen in Lebensmitteln zu erzielen, rückt die Fermentation in den Vordergrund. Optimierungen sind nicht nur in der Textur erzielbar (Tee et al. 2023), sondern auch im Geschmack durch Eliminierung unbeliebter Aromen und

Nebengeschmäcke (Senanayake et al. 2023). So wird beispielsweise der unbeliebte Bohnengeschmack bei Hülsenfrüchten minimiert (Cichonska et al. 2024) Maßgeblich verantwortlich für die resultierenden sensorischen Veränderungen sind die verwendeten Fermentationsstämme und das Substrat. Aus diesem Grund müssen für jedes Fermentationsprodukt die optimalen Prozessbedingungen erforscht und angepasst werden, um die gewünschte Sensorik zu erzielen. Moderne Fermentationen finden dafür in industriellen Maßstäben mit bekannten Rein- oder Mischkulturen statt (Senanayake et al. 2023). Messgeräte überwachen präzise die Prozessbedingungen und können durch Regeltechnik gesteuert werden (Munk 2018). Die genau definierten Mikroorganismenstämme werden als Starterkulturen bezeichnet und müssen den GRAS-Organismen (= Generally recognized as safe, Deutsch: Allgemein als sicher anerkannt) angehören. Dies bedeutet, sie sind für den menschlichen Verzehr unbedenklich, da sie keine toxischen Stoffe bilden oder potenzielle Krankheitserreger darstellen (Keweloh 2006).

2.2.1 Einflussfaktoren einer Feststofffermentation

Der Fermentationsprozess wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zu den wichtigsten gehören Partikelgröße, Feuchtigkeit, pH-Wert, Vorbehandlung und a_w -Wert des Substrates sowie in der Substanz enthaltene Nährstoffe. Darüber hinaus spielen auch die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und die Belüftung im Inkubator eine entscheidende Rolle sowie die Art, Anzahl und das Alter der verwendeten Starterkulturen (Pandey 2003). Im Folgenden werden die in dieser Arbeit relevanten Einflussparameter kurz beschrieben.

Die Grundlage für einen erfolgreichen Fermentationsprozess ist die, dass die ausgewählten Starterorganismen unter den spezifischen Fermentationsbedingungen wachsen können (Elhalis et al. 2023). Um dies zu gewährleisten, müssen mikrobiell spezifische Wachstumsbedingungen geschaffen und über einen gewissen Zeitraum aufrechterhalten werden. Entscheidend sind dabei die Zusammensetzung des Nährmediums, pH-Wert, Inkubationstemperatur sowie optimale Gasphase (Munk 2018). Die Morphologie der eingesetzten Kulturen sollte ebenfalls beachtet werden. So kann die

Ausprägung zu dichter Myzelschichten von filamentösen Pilzen die Abgabe der Metabolisierungswärme hemmen (LABOAO 2023). Diese entsteht durch die Zersetzung komplexer Substratmoleküle und nimmt mit fortschreitender Fermentationszeit stetig zu (Elhalis et al. 2023). Zu hohe Temperaturen resultieren, abhängig von der Kultur, in einem Wachstumshemmnis oder gar in einer Abtötung der Mikroorganismen (Sfakianakis 2018). Es bieten sich Hefen und einige wenige Bakterien darunter *Bacillus*- oder *Lactobacillus*-Stämme als Fermentationskulturen an. Filamentöse Pilze wie *Rhizopus*- oder *Aspergillus*-Stämme sind am besten geeignet, da sie ihre Metabolisierungsprozesse bei einer geringen Wasseraktivität aufrechterhalten können. Durch ihre Hyphen sind sie fähig, abhängig von der Partikelgröße des Substrates, sich nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch innerhalb des Substrates auszubreiten und das gesamte Festsubstrat zu besiedeln (Soccol et al. 2017). Entscheidend ist somit auch der Zerkleinerungsgrad des Nähmediums. Häufig beginnt das Mikroorganismenwachstum an der Substratoberfläche und weitet sich von dort ins Innere des Substrates aus. Hierbei spielen die von der Partikelgröße abhängigen Stofftransporte und Gasdiffusion eine entscheidende Rolle. Eine kleine Partikelgröße erleichtert das Eindringen von Mikroorganismen und Enzymen ins Substratinnere und kann den Fermentationsprozess beschleunigen. Eine zu geringe Partikelgröße kann jedoch den Gas- und Massenaustausch und damit das Wachstum der Mikroben behindern, da die Partikel dann zu dicht gepackt sind (LABOAO 2023).

Neben Zerkleinerungsprozessen sind auch weitere Vorbehandlungen des Substrates wie das Einweichen bei Hülsenfrüchten bedeutend. Durch diese werden Enzyme aktiviert und bewirken erste enzymatische Abbauprozess, die zu einem zügigeren Fermentationsprozess führen (Senanayake et al. 2023).

Von großer Bedeutung ist zudem ein steriles Substrat, da nur die Vermehrung der Starterkultur erwünscht ist. Um sämtliche Mikroorganismen, einschließlich ihrer Dauerformen und gegebenenfalls Viren, in Lebensmitteln abzutöten, ist eine Sterilisation notwendig. Eine gängige Methode hierfür ist die Dampfsterilisation in einem Autoklav, bei der das Substrat unter feuchter Hitze bei etwa 121 °C und 2 bar für 15 bis 30 Minuten sterilisiert wird. Durch die Erzeugung von Überdruck in einem verschlossenen Behälter entsteht heißer Wasserdampf, der das Substrat umströmt und zu einer vollständigen Keimfreiheit führt. Alternativ kann

für wenige Minuten direkt im Fermenter eine Dampfsterilisation bei 140 °C erfolgen (Munk 2018).

2.2.3 Stoffumwandlungsprozesse bei Leguminosen

Während der Fermentation verstoffwechseln die Mikroorganismen das feste Substrat. Dabei werden von den Starterkulturen produzierte Metabolite abgegeben. Zu diesen gehören verschiedene Enzyme, welche komplexere Strukturen des festen Substrates in kürzere Einheiten spalten.

Der Proteinabbau findet durch Proteasen statt, welche die Proteine in Peptide und freie Aminosäuren hydrolysieren. Ein Anstieg der Bioverfügbarkeit der Proteine, des Anteils essentieller Aminosäuren und bioaktiver Peptide mit entzündungshemmenden, antimikrobiellen sowie -oxidativen Eigenschaften ist die Folge. Durch weitere mikrobielle Verstoffwechslung freiwerdender Aminosäuren kann auch eine Aminosäurereduzierung erfolgen.

Lipasen katalysieren durch Hydrolyse Fette in freie Fettsäuren und Glycerin. Zahlreiche mehrfach ungesättigte Fettsäuren werden freigesetzt, darunter Arachidonsäure, Docosahexaensäure, Eicosapentaensäure sowie Linol- und Linolensäure. Bei der Fermentation von Kichererbsen kann der Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren bis zu 119 % zunehmen. Besonders stark ist der Anstieg an Omega 3- und Omega 6-Fettsäuren.

Auch im Hinblick auf die Kohlenhydrate finden Abbauprozesse statt. Dabei wird insbesondere der Hauptbestandteil von Leguminosen, die Stärke, aber auch Ballaststoffe und weitere Kohlenhydrate u.a. durch Amylasen und Glucosidasen in kürzere Kohlenhydrateinheiten bis hin zu Di-, Monosacchariden, Ethanol und Pyruvat katalysiert. Infolgedessen kommt es zur Konzentrationserhöhung löslicher Kohlenhydrate wie Glucose, welche zügiger über die menschliche Darmmucosa aufgenommen werden können. Weiter fungieren die Di- und Monosaccharide als Energiequellen für die Fermentationskulturen, die dadurch verschiedene Verbindungen wie organische Säuren, Ester, Alkohole und Ketone bilden können, die wiederum ausschlaggebend zur Geschmacksbildung beitragen (Senanayake et al. 2023). Zudem kann die Reduzierung von Cellulose zum Weichwerden des Substrates führen, wie bei Sojabohnen in Tempeh beobachtet wurde (Holzapfel 2015). Auch die Bildung von Pyrazinen, die ein

nussiges, röstiges Aroma erzeugen, ist typisch für einige Fermentationsprozesse. Besonders bei der Herstellung von Natto aus Sojabohnen, fermentiert mit *Bacillus subtilis*, wurde eine hohe Konzentration dieser Verbindungen nachgewiesen (Kłosowski et al. 2021). Aber auch in Tempeh konnten gesteigerte Gehalte an Pyrazinen beobachtet werden (Jeleń et al. 2013).

Positive Einflüsse sind auch im Hinblick auf den Mikronährstoffgehalt zu verzeichnen. Es kommt zur Erhöhung des Antioxidantiengehaltes. Fermentationen von Urbohnen (*Vigna mungo L.*) und Reis (*Oryza*) mit *Aspergillus oryzae* und *Aspergillus niger* zeigten einen 81 – 107 % igen Antioxidantienanstieg auf. Auch ein Vitaminanstieg, insbesondere der B-Vitamine, ist möglich (Senanayake et al. 2023; Sen Gupta et al. 2025).

2.3 Bedeutung der Lebensmittelsensorik

Die Lebensmittelsensorik befasst sich mit der Beschreibung, Wahrnehmung und Beurteilung von Lebensmitteleigenschaften wie Produktoptik, Textur, Geruch und Geschmack. Diese sensorischen Eigenschaften werden überwiegend mit den menschlichen Sinnesorganen, teilweise auch mit Messinstrumenten, erfasst, um u.a. Qualitätseinschätzungen treffen zu können. Es kann aber auch die Produktakzeptanz von Verbrauchern beurteilt werden, denn diese wird maßgeblich durch die Sensorik verursacht. So ist eine Akzeptanz oder Ablehnung stark von dem Genusswert und dem empfundenen Essvergnügen beim Verzehr abhängig, die durch sensorische Eindrücke bestimmt werden. Dieser Zusammenhang bestätigte sich selbst bei hungrigen Personen, die Produkte mit nicht ansprechendem Sensorikprofil verweigerten.

Bei der sensorischen Beurteilung eines Lebensmittels hat als Erstes besonders die visuelle Wahrnehmung unbewusst großen Einfluss auf die nachfolgenden Produktbewertungen. Allein aus der Produktfarbe werden automatisch Rückschlüsse auf bspw. Reifegrad, Frische oder Verderbenheit gezogen. Ebenso kann die Einschätzung der Haltbarkeit durch olfaktorische und gustatorische Eindrücke erfolgen. Hinsichtlich der Akzeptanz des Geschmackes sind vorrangig die fünf Grundgeschmacksarten süß, salzig, bitter, sauer und

umami entscheidend. Zudem fördern wärmere Temperaturen eine verstärkte Aromafreisetzung und ein intensiveres Geschmackempfinden.

Vor der Konsumententscheidung spielt jedoch die Kaufentscheidung eine wichtige Rolle. Dabei trägt ebenfalls das Gefallen optischer Merkmale wie Form, Farbe und das generelle Produktaussehen entscheidend zum Kauf bei. Geschmack und Textur hingegen entscheiden letztlich darüber, ob das Produkt auch nach dem ersten Kauf wiedergewählt wird.

Diese Aspekte zeigen, dass die Beachtung der Sensorik während der Produktentwicklung einen wichtigen Platz einnimmt und vor der Markteinführung durch Konsumenten und Sensoriker überprüft werden muss (Meier 2002).

3. Geräte und Materialien

In den nachfolgenden Tabellen sind alle verwendeten Geräte aufgelistet. Weitere Hilfsmittel, die in Verwendung waren, werden unter Punkt 4. Methode erfasst.

| Geräte | Hersteller, Model |
|-----------------------|---|
| analytische Feinwaage | Sartorius AG, CP224S |
| Autoklav | Korimat KA 120 |
| Herd | Miele Induktionskochfeld, KM |
| Inkubator | Memmert Konstantklima-Kammer, HPP 108/749 |
| Küchenwaage | Mettler, PJ4000 |
| Ofen | Miele H6160BP, Typ BPBK6010 |

Tab. 1 Verwendete Geräte

Rohstoff Bambara-Erdnuss. In den Versuchen werden cremefarbige Bambara-Erdnüsse aus dem Erntejahr 2022 aus Nigeria verwendet. Sie stammen von der „Namibia Institution of Seeds“, wurden in Plastiktüten vakuumiert, bei 4 °C gekühlt gelagert und besitzen einen Feuchtigkeitsgehalt von 10 % (w/w).

Fermentationskulturen. Als Starterorganismen werden drei Pilz- und eine *Bacillus*-Bakterienkultur in gefriergetrockneter Pulverform verwendet, wobei zwei Kulturen mit Trägermaterial versetzt sind. Die Kulturen wurden speziell für diese Arbeit bestellt. Spezifikationen wurden nicht mitgesendet. In Tüten vakuumiert,

bei 4 °C gelagert, wurden die Kulturen innerhalb von 3 Monaten aufgebraucht. Die nachfolgende Tabelle gibt weitere Informationen zu den Starterkulturen:

| Fermentationskulturen | Hersteller/ Herkunft | Beschreibung |
|-------------------------------------|--|--|
| <i>Aspergillus awamori</i> | Versand: Starterkulturen, Artikelnr. 46, Niederlande; Herkunft Japan | Trägermaterial: Reiskörner (aerob) |
| <i>Aspergillus oryzae</i> | Hihushi Matsunosuke Shoten Co., W-20; Herkunft Osaka, Japan | 10 ⁶ KbE/ g (aerob) |
| <i>Bacillus subtilis var. natto</i> | Versand: Makrobiotik, Hohrenk; Herkunft Belgien | Trägermaterial: Reismehl 10 ⁶ KbE/ g (aerob) |
| <i>Rhizopus oligosporus</i> | HeldenPilz GmbH, Deutschland | Trägermaterial: Reismehl (aerob) |

Tab. 2 Verwendete Starterkulturen

4. Methode

In diesem Kapitel wird die Herangehensweise des Studienablaufes mit Probenvorbereitung, Voruntersuchung und Hauptuntersuchung erläutert. Die Datenerhebung fand in Zusammenarbeit mit dem Technologie-Transfer-Zentrum (ttz)-Bremerhaven statt.

4.1 Versuchsablauf

Die folgenden Grafiken verdeutlichen die Kernschritte dieser Arbeit.

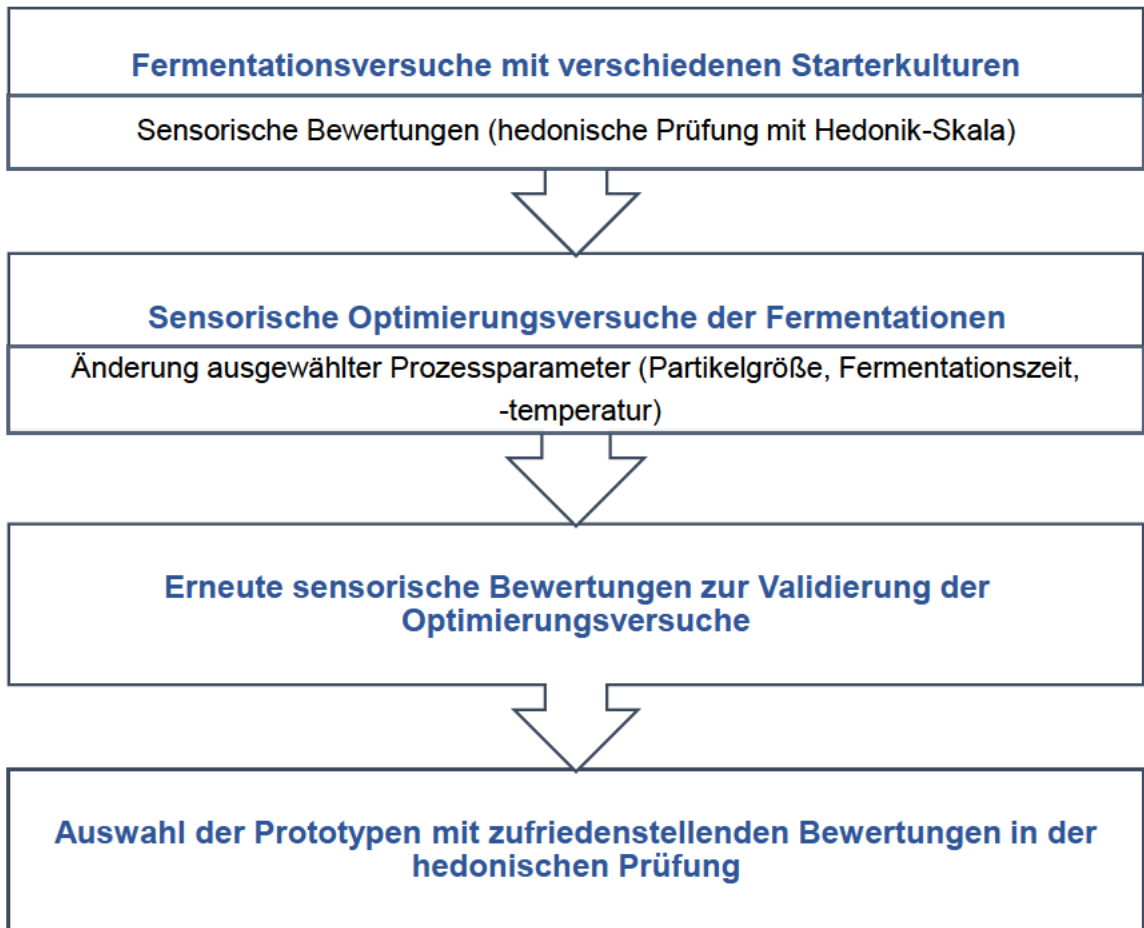


Abb. 1 Versuchsplan der Voruntersuchung

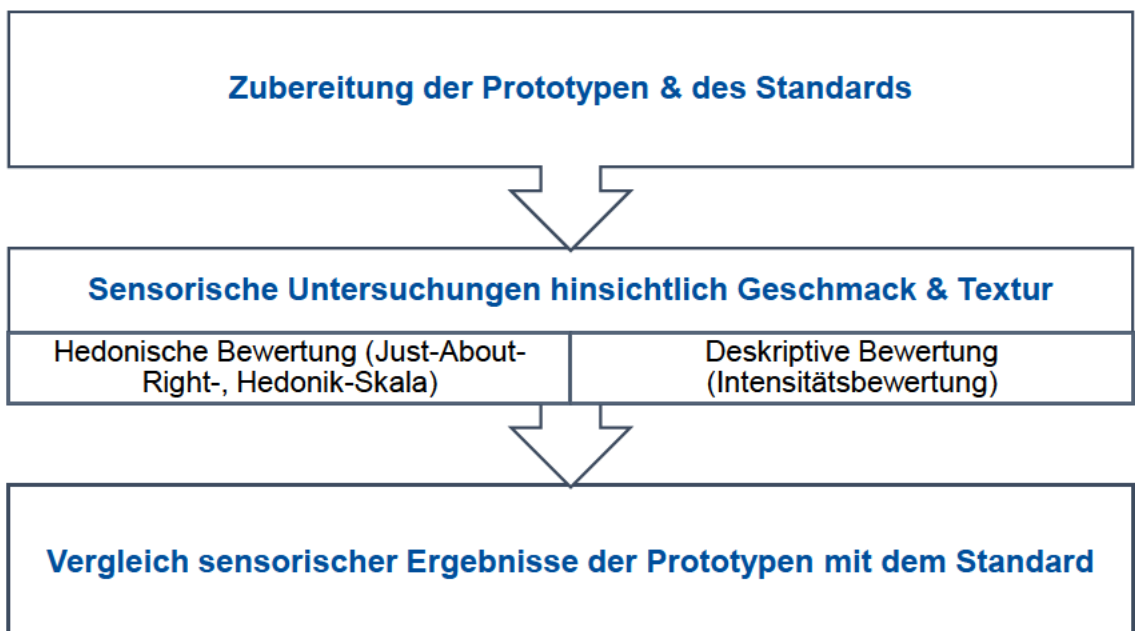


Abb. 2 Versuchsplan der Hauptuntersuchung

4.2 Arbeitsbedingungen und Probenvorbereitungen

Die nachfolgenden beschriebenen Prozessschritte sind bei allen durchgeführten Versuchen gleichbleibend:

Zunächst erfolgte das Einwiegen der Bohnen von $30,0 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$. Nach Fadahunsi (2009) wurden sie unter fließendem Leitungswasser gereinigt und im Verhältnis 1:6 (w/w) für 24 h eingeweicht. Danach wurde das Einweichwasser abgegossen und die Bohnen 2 - 3 min in einem Sieb abgetropft. Anschließend folgten je nach Versuch ein oder mehrere zusätzliche Zwischenschritte, die nachfolgend ab Punkt 4.4.2 näher erläutert werden.

Im Anschluss wurden die vorbereiteten Bohnen entweder in Alufolie eingewickelt oder in ein Behältnis gegeben, welches mit einem entsprechenden Deckel oder Alufolie verschlossen wurde. Die Sterilisation im Autoklav erfolgte nach Munk (2018) bei 121 °C und 2 bar für 20 min.

Da während des Fermentationsprozesses ausschließlich die Starterkultur kultiviert werden soll, bestand die Notwendigkeit eines sterilen Arbeitens (Munk 2018). In den nachfolgenden Schritten wurden demnach sterile Hilfsmittel und Materialien verwendet. Arbeitsflächen und nicht sterilisierbare Hilfsmittel wurden mit 80 % vol. Ethanol desinfiziert.

Nach der Autoklavierung wurde die sterilisierte Probe aus dem Autoklav entnommen. Anhand der Behältnistemperatur wurde die Probentemperatur geschätzt, da eine ungewollte Kontaminierung durch ein Temperaturmessgerät vermieden werden sollte. Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur erfolgte die Beimpfung. Die jeweilige Fermentationskultur wurde mit der Feinwaage auf $\pm 0,005 \text{ g}$ genau abgewogen. Die Beimpfung verlief zügig und unter sterilen Bedingungen neben offener Brennerflamme an der Sterilbank. Die beimpfte Probe wurde zum Fermentieren in den Inkubator gestellt.

4.3 Herstellung der Sporensuspensionen

Für die Fermentationsversuche mit *Aspergillus awamori* und *Rhizopus oligosporus* mussten im Vorfeld Sporensuspensionen hergestellt werden. Da bei den Starterkulturen Angaben zur Sporenkonzentration fehlten, wurden diese zunächst ermittelt.

Dafür ist eine Kultivierung der Schimmelpilze auf Hefeextrakt-Glucose-Chloramphenicol-Agar-Platten für 48 h bei 25 °C nötig (Xebios Diagnostics GmbH 2025). Dies erfolgt zunächst durch die Anfertigung einer geometrischen Verdünnungsreihe unter sterilen Bedingungen. In Reagenzgläser werden dafür 9 ml einer 0,9 %-igen (w/w) Natriumchloridlösung pipettiert. Dem ersten Reagenzglas wird 1 ml Probenlösung (bestehend aus Sporen und Natriumchloridlösung im Verhältnis 1:100) hinzugegeben und gründlich durchmischt. Davon wird 1 ml für die nächste Verdünnungsstufe entnommen, in das nachfolgende Reagenzglas pipettiert und durchmischt (LAMBDA Laboratory Instruments 2025). Die Agar-Platten werden mit 100 µl je Verdünnung beimpft und mittels Plattenausstrichverfahrens mit dem Drigalski-Spatel ausplattiert (Universität Ulm 2025; IUL 2022). Dementsprechend wurden Sporenverdünnungen bis zur Verdünnungsstufe 10^{-7} hergestellt, je Verdünnung zwei Agar-Platten beimpft und anschließend im Inkubator kultiviert.

Nach 24 h waren keine Kolonien beim *Aspergillus awamori* sichtbar. Beim *Rhizopus oligosporus* konnten hingegen bis zur Verdünnungsstufe 10^{-5} Kolonien beobachtet werden. Nach 2 Tagen wurden die *Aspergillus*-Kolonien bei den Verdünnungen 10^{-6} sowie 10^{-7} ausgezählt werden, die anderen Agar-Platten waren dafür zu überwuchert. Dabei wurde auch eine dunklere Kultur beobachtet, die auf eine fremde Mikroorganismenkultur schließen lässt. Beim *Rhizopus* waren die beiden niedrigsten Verdünnungen überwuchert und nicht auswertbar. Anhand dieser Ergebnisse (s. Tab. 3, Tab. 4 in Anlage 1) ließ sich die Kolonie bildende Einheit (KbE) je Gramm berechnen. Diese ergaben beim *Aspergillus* $6,3 \cdot 10^7$ KbE/g und beim *Rhizopus oligosporus* $9,8 \cdot 10^5$ KbE/g.

Die Herstellung der Sporensuspensionen konnte dann wie folgt durchgeführt: Für den *Aspergillus awamori* wurden 3 ml Suspension mit $2,2 \cdot 10^6$ KbE/g benötigt (Sfakianakis 2018), weshalb 50 mg der Starterkultur in ein steriles Becherglas eingewogen und mit 3 ml steriles Wasser pipettiert wurden. Durch leichtes Schwänken wurde die Suspension gründlich durchmischt.

Anhand von vorherigen Tempeh-Versuchen des ttz-Bremerhavens wurde eine Sporensuspension des *Rhizopus oligosporus* von 3 ml mit $1 \cdot 10^6$ KbE hergestellt. 1,1 g des Schimmelpilzes wurden eingewogen und in einem sterilen Becherglas mit 3 ml sterilem Wasser durch Schwänken durchmischt.

4.4 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung diente zunächst der Identifikation von geeigneten Starterkulturen. Dafür wurden mehrere Prototypen hergestellt und sensorisch analysiert. Unterschiedliche Fermentationsbedingungen und Prozessschritte vor und nach der Fermentation sollten getestet werden, um das sensorische Profil der Bambara-Bohnen zu optimieren, bevor es in den Hauptuntersuchungen bewertet wurde. Erzielt werden sollte ein akzeptables Sensorik-Profil. Darunter wurde ein Gefallen in der Produktoptik, im Geruch, im Geschmack und in der Textur des Produkts verstanden.

4.4.1 Hedonische Methode

Bei den hedonischen Verfahren dienen subjektive Untersuchungen der Produkteigenschaften mit ungeschulten Prüfpersonen der Präferenz- und Akzeptanzbestimmung von Lebensmitteln. Unter Zuhilfenahme von Skalen wie einer Hedonik-Skala werden in Akzeptanzprüfungen die Beliebtheit- bzw. der Gefallensgrad ermittelt (Meier 2002). Ein Austausch der Prüfpersonen über die Beliebtheitsbewertungen kann zur Optimierung des Lebensmittels hilfreich sein (Wallner und Gruber 2017).

Für die Untersuchungen der Prototypen in dieser Arbeit wurden folgende Kriterien nach Beliebtheit auf einer 9er-Hedonik-Skala beurteilt: Aussehen, Geruch, Geschmack, Textur sowie Gesamtakzeptanz. Eine nähere Erläuterung der individuell vergebenen Punktzahl wurde in der Spalte Bewertungsgrund/Bemerkungen von den Prüfpersonen getätigt. Der sich anschließende Austausch über die Bewertungen diente der Festlegung der negativ eingestuften Sensorik-Parameter, um diese in dem nachfolgenden Versuch zu optimieren. Der dadurch erzielte Prototyp wurde dann auf gleiche Art und Weise sensorisch untersucht.

Die Untersuchungen wurden von 5 Mitarbeitern mit Erfahrung in sensorischen Beurteilungen durchgeführt. Wurde der erste Vorversuch in der Kategorie „Gesamtakzeptanz“ mit durchschnittlich $\leq 4,0$ Punkten im Missfallen-Bereich benotet, so wurde von weiteren Versuchen abgesehen. Dieser Grenzwert wurde gewählt, da nur wenige Optimierungsversuche durchgeführt werden konnten, um einen akzeptierten Prototyp (alle Bewertungen im Gefallen-Bereich) herzustellen.

4.4.2 Tempeh-Vorversuche mit *Rhizopus oligosporus*

In den nachfolgenden Versuchen sollte die Herstellung von Tempeh getestet werden. Orientiert wurde sich an durchgeführten Tempeh-Versuchen des ttz-Bremerhavens sowie an dem Artikel von Ahnan-Winarno et al. (2021).

Versuch 1. Die Probenvorbereitung wurde gemäß Punkt 4.2 durchgeführt. Ganze Bohnen wurden in einem 300 ml Becherglas autoklaviert und dann mit 3 ml Sporensuspension beimpft. Nachgespült wurde mit 2 ml Wasser und mit einem Spatel gründlich durchmischt. Das Becherglas mit der 8 cm Substratschicht wurde mit steriler, perforierter Alufolie verschlossen. Im Inkubator wurde bei 35 °C für 24 h fermentiert.

Versuch 2. In diesem Versuch wurde eine Partikelgrößenverkleinerung durchgeführt. Die Bohnen wurden nach dem Einweichen halbiert und es wurde wie im ersten Versuch fortgefahren. Die Fermentationszeit wurde auf 30 h erhöht. Durch Überführen in ein anderes Becherglas nach 4 sowie 20 h wurde die Probe zweimal gewendet.

Versuch 3. Beim dritten Versuch wurden die Bambara-Erdnüsse in Alufolie verpackt und darin autoklaviert. Für die Beimpfung wurde keine Suspension hergestellt, die Trockensporen wurden fein über den Bambara-Erdnüssen verteilt. Ein 3 cm hoher Block wurde geformt und mit steriler, perforierter Alufolie eingepackt. Die Fermentationstemperatur wurde auf 30 °C reduziert und die Zeit auf 40 h erhöht. Eine Hälfte des Tempehs - Versuch 3a - wurde pur bewertet, die andere - Versuch 3b - in 1 cm dicken Scheiben in Sonnenblumenöl beidseitig je 2 min angebraten und leicht gesalzen.

4.4.3 Natto-Vorversuche mit *Bacillus subtilis var. natto*

In diesen Versuchen wurde sich zunächst an der Anleitung für die Natto-Herstellung vom Hersteller der Starterkultur orientiert (s. Anlage 3).

Versuch 1. Der Fermentationsversuch startete gemäß Punkt 4.2. Ganze Bohnen wurden in einem 150 ml Becherglas autoklaviert und dann mit 50 mg trockenen *Bacillus*-Sporen beimpft. Es folgte eine gründliche Durchmischung mit Hilfe eines Spatels und der Zugabe von 3 ml Wasser und einer erneuten Durchmischung. Das Becherglas mit der 3 cm hohen Probenschicht wurde mit steriler Alufolie abgedeckt und für 6 h bei 40 °C in den Inkubator gestellt. Eine Überprüfung nach Ende der Fermentationszeit zeigte keine optischen oder gustatorischen Veränderungen, weshalb die Fermentationszeit um 27 h verlängert wurde.

Versuch 2. Für den Versuch 2 wurden folgende Schritte geändert: Die Sporenmenge wurde auf 300 mg erhöht. Die Fermentation fand bei 40 °C für 33 h statt. Nach 6 h und 20 h erfolgte durch Schütteln ein Durchmischen der Bohnen im Becherglas.

Versuch 3. Dieser Versuch wurde wie der erste Versuch, nur mit einem zusätzlichen Schütteln nach 6 h und 20 h, durchgeführt. Das Endprodukt wurde in zwei Teile aufgeteilt, welche wie folgt weiterverarbeitet wurden:

Für Variante 1 (Versuch 3a) wurde eine Öl-Marinade in einer Schüssel vorbereitet. Dafür wurden ein Esslöffel Sonnenblumenöl und ein halber Teelöffel Kochsalz gemischt. Anschließend erfolgten die Hinzugabe und das vorsichtige Untermischen der fermentierten Bohnen. Die Einwirkzeit betrug 10 min. Der Ofen wurde auf 160 °C Ober-/Unterhitze vorgeheizt. Nach dem Ende der Einwirkzeit wurden die Bohnen mit einer Gabel herausgenommen und auf dem mit Backpapier ausgelegten Backblech verteilt.

In der Variante 2 (Versuch 3b) wurde eine süße Snackmethode getestet. Dafür wurden die Bohnen mit einer Prise Salz versetzt. 20 g Saccharose wurden in einer Pfanne auf hoher Hitze erwärmt und zum Schmelzen gebracht. Nach der Verflüssigung des Zuckers und einer leichten Braunfärbung wurde die Pfanne von der Herdplatte genommen, die Bohnen zügig hinzugefügt und mit einem Pfannenwender im flüssigen Zucker gewälzt. Die karamellisierten Bohnen wurden vereinzelt auf ein Backpapier zum Trocknen gelegt.

4.4.4 Koji-Vorversuche mit *Aspergillus awamori*

Diese Versuche testeten die Koji-Herstellung. Es wurde sich nach den Herstellungsversuchen von Sfakianakis (2011) gerichtet.

Versuch 1. Die Durchführung der Probenvorbereitung verlief gemäß Punkt 4.2 dieser Arbeit. Nach dem Einweichen wurden die Bambara-Erdnüsse halbiert im 300 ml Becherglas autoklaviert. Nach dem Abkühlen erfolgt die Beimpfung mit 3 ml Sporensuspension (s. Punkt 4.3). Das Becherglas mit der Suspension wurde mit 2 ml sterilem Wasser nachgespült, mit einem Spatel durchmischt und mit perforierter Alufolie verschlossen. Die Probe wurde für 63 h bei 35 °C im Inkubator fermentiert.

Versuch 2. In Abwandlung des Versuchs 1 erfolgte eine Verkürzung der Fermentationszeit auf 30 h bei 30 °C. Zudem wurde die Probe nach 8 h händisch geschüttelt.

4.4.5 Koji-Vorversuch mit *Aspergillus oryzae*

Die Koji-Herstellung erfolgte bei diesem Versuch mit *Aspergillus oryzae*. Basis für die Durchführung bildeten bereits mit Reis durchgeführte Versuche des ttz-Bremerhavens.

Versuch 1. Aufgrund der geringeren Größe von Reiskörnern wurden die Bohnen nach dem Einweichen geviertelt, um ungefähr die gleiche Partikelgröße zu erzeugen. Die zerkleinerten Bohnen wurden in einer Pipettenschachtel autoklaviert, darin mit 20 mg *Aspergillus oryzae*-Sporen beimpft und mit einem Spatel sorgfältig durchmischt. In der Pipettenschachtel wurde eine 2 cm dicke Probenschicht gebildet und mit dem Deckel der Schachtel verschlossen. Die Fermentation fand im Inkubator bei 38 °C für 47 h statt. Nach 20 h und 41 h wurde die Probe erneut mit dem Spatel durchmischt.

4.5 Hauptuntersuchung

In der Hauptuntersuchung wurden aus den Vorversuchen ausgewählte Prototypen zusammen mit den gekochten Bambara-Erdnüssen als Vergleichsstandard auf ihre sensorischen Eigenschaften untersucht. Dafür fand eine hedonische und eine deskriptive, quantitative Analyse mit dem Ziel statt, Unterschiede und Optimierungsbedarf in ausgewählten Attributen auf Basis subjektiver und objektiver Daten herauszustellen.

4.5.1 Attributauswahl

Die Attributvorauswahl erfolgte auf Grundlage von vorrangegangenen Literaturrecherchen, die häufige sensorische Veränderungen bei fermentierten Leguminosen-Produkten beschrieben. Abgeglichen wurde die Auswahl mit Attributen, welche in einer Attributgenerierungsaufgabe (s. Tab. 5 in Anlage 4) mit dem trainierten Sensorikpanel des ttz-Bremerhaven herausgearbeitet wurden. Dieses Sensorikpanel bestand aus 10 externen Personen, die auf wöchentlicher Basis nach DIN EN ISO 8586 und produktbezogen trainiert werden und regelmäßig sensorische Merkmale von Produkten verschiedener Produktkategorien messen. Die Hypothese, dass sich die Produkte in den ausgewählten Produkteigenschaften unterscheiden und durch diese maßgeblich in ihrer Sensorik charakterisiert werden, konnte das Panel bestätigen. Ein letztes Aussortieren von vorherigen ausgewählten, aber unpassenden Attributen wurde unternommen. Festgelegt wurden folgende Geschmacks-Attribute: nussig, süß, bitter, bohlig, erdig, röstig sowie die Intensität des Gesamtgeschmack (nachfolgend „Intensität“ genannt). Für die Textur wurde sich für die Attribute knackig (bezogen auf die Knackigkeit der äußeren Produkthülle), weich und mehlig (beides bezogen auf das Produktinnere) entschieden.

In der deskriptiven Analyse wurden zusätzlich die Intensitäten des Nachgeschmacks von röstig und bitter sowie die Intensität des Gesamtnachgeschmacks (nachfolgend „Nachgeschmack“ genannt) untersucht.

4.5.2 Probenvorbereitung

Aufgrund der Tatsache, dass die für die Hauptuntersuchung ausgewählten Prototypen aus den Vorversuchen nach der Fermentation weitere Verarbeitungsschritte durchlaufen, die ebenfalls die Sensorik beeinflussen, wurden die Prototypen zusätzlich im reinen Endzustand beurteilt, d.h. ohne weitere Bearbeitungsschritte nach Fermentationsende. Gemäß Punkt 4.4.2 wurde der Tempeh-Versuch 3a und 3b in größeren Mengen hergestellt. Bei den Natto-Versuchen wurden zweimal Versuch 3a, wie unter Punkt 4.4.3 beschrieben, hergestellt. Dabei wurde jedoch eine Natto-Probe nach Fermentationsende nicht geröstet.

Der benötigte Standard wurde für 24 h eingeweicht und anschließend mit 2 g Salz für 3,5 h gekocht.

Insgesamt wurden für die Panelsitzungen 350 g Produkt und für die Hedonik-Sitzungen 150 g Produkt benötigt. Aufgrund der Probenmenge und der Gefahr einer inhomogenen Sporenverteilung in dem Bohnen-Substrat wurden die Sporen viermal in kleineren Mengen auf der Oberfläche fein verstreut und mit dem sterilen Spatel gründlich untergemischt. Die Natto-Prototypen wurden in 1 L Bechergläser angesetzt. Die Tempeh-Prototypen wurden zu länglichen Blöcken mit 3 cm Höhe und 7 cm Breite geformt und mit steriler Alufolie eng umwickelt. Da bei dem Tempeh kleine Luftlöcher in die Alufolie gestochen wurden und somit eine Fremdkontamination im Inkubator nicht ausgeschlossen werden konnte, wird das pure Tempeh-Produkt (Versuch 3a) kurz vor dem Verkosten gekocht, um einen einwandfreien Hygienestatus zu gewährleisten.

4.5.3 Sensorische Methoden

Die sensorischen Prüfungen fanden in einer störungsfreien Prüfumgebung, in einem nach DIN EN ISO 8589 ausgerichteten Sensoriklabor des ttz-Bremerhaven (Lengstr. 3, 25752 Bremerhaven), statt. In identischen, neutralen Prüfgefäßen (weiße Porzellanschälchen) erfolgte eine sequentiell monadische Probendarreichung randomisiert mit zufälligen, dreistelligen Codes für jede einzelne Probe (Wallner und Gruber 2017). Eine rechtzeitige Produktentnahme aus dem Kühlschrank und Produktzubereitung sorgte für annähernd identische

Probentemperaturen. Laut Hanrieder (2012) können Kontexteffekte durch diese Maßnahmen reduziert werden. Warmer Früchtetee (Meßmer Milde Hagebutte), Wasser und Matzen wurden zum Neutralisieren verwendet (Hildebrandt und Schneider-Häder 2009; Meier 2002).

Deskriptive Methode. Die deskriptive Methode basiert auf objektiven Messungen mit einem geschulten Sensorikpanel von 8 – 12 Prüfern unter Ausschluss subjektiver Einflüsse (Wallner und Gruber 2017).

Für diese Untersuchung wurden die 9 nach DIN EN ISO 8586 geschulten, externen Panellisten durch zwei Trainingspanel trainiert. In diesen erfolgte mit den zu untersuchenden Produkten eine Attributgenerierung sowie -definition und eine Intensitätsbewertungen für die Festlegung der Attributintensitäten (s. Anlage 4). In der abschließenden Panelsitzung wurden die 5 Produkte in 135 Messungen, aufgeteilt in 3 Replikaten, nach den Attributintensitäten auf einer Kategorienskala bewertet (s. Anlage 6). Verwendet wurde die von Wallner und Gruber (2017) empfohlene 11er-Skala von 0 (keine Intensitätswahrnehmung) bis 10 (sehr hohe Intensität). Jeder Panellist erhielt ca. 12 g der Probe. Die Tests wurden mit der Sensorik-Software Fizz Acquisition 2.7 Biosystemes durchgeführt.

Hedonische Methode. Für die Beliebtheitsbestimmung von Produkten können neben Hedonik-Skalen auch Just-About-Right-Skalen (JAR-Skalen) herangezogen werden. Diese ermöglichen zu den objektiven Intensitätsbewertungen des Sensorikpanels zusätzlich eine subjektive Bewertung der Attributintensitäten (Bongartz et al. 2011).

Die 5 Produkte wurden dafür in einem Replikat von 9 internen, sensorisch ungeschulten Mitarbeitern des ttz-Bremerhavens nach den ausgewählten Attributen auf einer 5er-JAR-Skala beurteilt. Anhand einer 9er-Hedonik-Skala wurde der Beliebtheitsstatus des Gesamtgeschmackes sowie -textur ermittelt. Jede Prüfperson erhielt ca. 15 g Probe/Prototyp. Die Beurteilung erfolgte auf einem Fragebogen in Papierform (s. Anlage 5).

4.6 Statistische Auswertung

Die Verarbeitung und statistische Analyse der Daten, die mittels des trainierten Sensorikpanels und dem internen Mitarbeiter-Panel generiert werden, erfolgte mit Excel mit der Software XLSTAT Sensory.

4.6.1 Auswertung der hedonischen Voruntersuchungen

Die hedonischen Voruntersuchungen wurden mittels einer 9er-Hedonikskala durchgeführt. Beliebtheitsbewertungen liegen bei ≥ 6 Punkten im Gefallen-Bereich und bei ≤ 4 Punkten im Missfallen-Bereich. Der Beliebtheitspunkt 5 bildet den neutralen Wendepunkt zwischen Akzeptanz und Ablehnung. Die hedonischen Daten werden bei dem Vergleich von > 2 Produkten mittels Varianzanalyse (ANOVA) und Tukey's Post-Hoc-Test analysiert (Bongartz et al. 2011). Demzufolge wurden die Bambara-Erdnuss-Proben, die mit der gleichen Starterkultur fermentiert wurden, jeweils mittels ANOVA auf Signifikanz ($p < 0,05$) geprüft. Anschließend wurde der Tukey's Honest Significant Difference (HSD) Post-hoc-Test ($p < 0,05$) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Probenpaaren zu lokalisieren.

4.6.2 Auswertung der hedonischen Hauptuntersuchungen

Die hedonischen Daten der Hauptuntersuchungen wurden zunächst wie die hedonischen Daten der Voruntersuchungen mittels ANOVA gefolgt von Tukey's HSD Post-Hoc-Test analysiert (Bongartz et al. 2011).

Der Einfluss der subjektiven Bewertungen der Attributintensitäten auf die Gesamtbeliebtheit des Geschmacks und des Mundgefühls wurde mittels Penalty-Analyse analysiert. Diese statistische Analyse wird genutzt, um JAR-Daten mit den Gesamtbeliebtheitsdaten zu kombinieren. Es wird eine Skalenmodifizierung der fünf JAR-Kategorien zu drei JAR-Kategorien durchgeführt. Die Kategorien „viel zu schwach“ und „etwas zu schwach“ werden zu „zu schwach“ zusammengefasst. Gleiches erfolgt mit den entgegengesetzten Kategorien, welche zu „zu intensiv“ zusammengeführt werden. Bestehen bleibt die „genau richtig“ (JAR)-Kategorie. Ermittelt werden dann die Mean drops (Deutsch:

Mittelwerts-Abfälle). Diese stellen die Mittelwertsunterschiede der Gesamtbeliebtheit (erhoben mit 9er-Hedonikskala) zwischen Gefallen („genau richtig“) und Missfallen („zu intensiv“ bzw. „zu schwach“) desselben Attributes dar. Die Signifikanz dieser Mean drops wird i. d. R. ab 20 % der Nennungen im Bereich „zu schwach“ bzw. „zu intensiv“ berechnet. Signifikante Mean drops zeigen die Einflussstärke der Attributausprägung auf die Gesamtbeliebtheit auf. Durch Anpassung dieser Attributintensitäten ist eine Produktoptimierung möglich (Bongartz et al. 2011). Bei einer geringen Prüfpersonenanzahl kann laut Bongartz et al. (2011) der 20 %ige Schwellenwert erhöht werden, weshalb die Signifikanzberechnung in dieser Arbeit mit einem Schwellenwert von 30 % durchgeführt wurde.

4.6.3 Auswertung der deskriptiven Hauptuntersuchungen

Die quantitativen, deskriptiven Intensitätsbewertungen wurden mit einer 11er-Skala durchgeführt. Nach Ptach (2011) wurden die Unterschiede zwischen den Probenpaaren mit Hilfe der ANOVA gefolgt von Tukey's HSD Post-hoc-Test bei einem Signifikanzniveau von 5 % auf Signifikanz geprüft.

Zudem erfolgte die Untersuchung der Panelleistung mittels Mixed Models (Type III) ANOVA ($p < 0,05$). Hierfür wurden Interaktionen zwischen Proben, Probenreplikationen und Panellisten geprüft. Proben*Panellisten-Interaktionen können Aussagen über die Reproduzierbarkeit und Diskriminierungsfähigkeit von trainierten Sensorikpanels geben (Bongartz und Pfeiffer 2010).

5. Ergebnisse der Vor- und Hauptuntersuchung

Dieses Kapitel beinhaltet die Auswertung aller sensorischen Daten. Begonnen wird mit der Darstellung der Ergebnisse aus den Vorversuchen, es folgt die Auswertung der Hauptversuchsdaten.

5.1. Auswertung der Vorversuche

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der hedonischen Bewertung der Vorversuche dargestellt. Hier liegt der Fokus auf der Auswertung

der Signifikanzuntersuchung zwischen den Bambara-Proben, die mit der gleichen Starterkultur behandelt wurden. Signifikante Effekte ($p < 0,05$) belegen, dass signifikante sensorische Veränderungen durch Prozessanpassungen erzielt werden konnten. Bei dem einzigen Fermentationsversuch mittels *Aspergillus oryzae* konnte keine Signifikanzprüfung stattfinden.

5.1.1 Tempeh-Vorversuche mit *Rhizopus oligosporus*

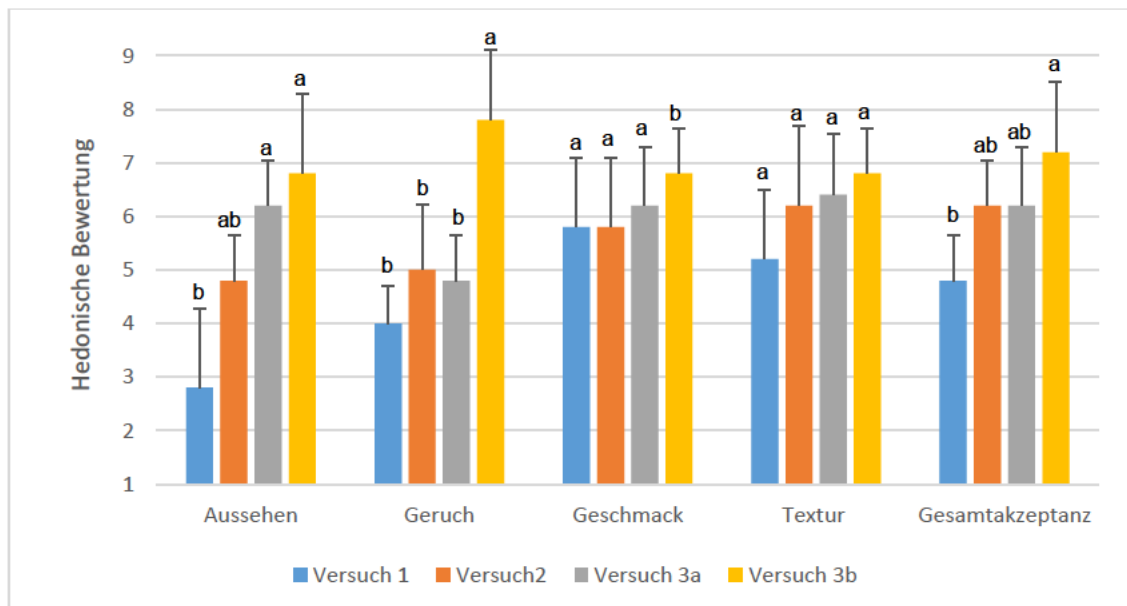


Abb. 3 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Tempeh-Vorversuche mit *Rhizopus oligosporus*, ($n = 5$). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test (Versuch 1: Startfermentation; Versuch 2: Fermentationszeit um 6 h verlängert, zweimal gewendet; Versuch 3a: Fermentationszeit um 10 h verlängert, Fermentationstemperatur um 5 °C verkürzt, Trockensporen statt Suspension; Versuch 3b: gebraten + gesalzen).

Die Mittelwerte der hedonischen Beurteilungen der Tempeh-Versuche mit *Rhizopus oligosporus* sind mit den Standardabweichungen (SD) in Abbildung 3 graphisch dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bilden signifikante Unterschiede zwischen Versuchen innerhalb einer sensorischen Kategorie ab.

Das Ergebnis des ersten Versuches (s. Abb. 4) war ein mit feinem weißen Myzel bewachsenes Endprodukt, welches durch sein Aussehen von den Prüfpersonen mit Spinneneiern verglichen wurde. Ebenso ist ein deutlicher weiß-krümeliger Bodensatz zu erkennen gewesen, der vermutlich durch heruntergelaufene Sporensuspension entstanden ist, zu erkennen gewesen. Dies waren die Hauptgründe für die niedrige Bewertung von $2,8 \pm 1,5$ Beliebtheitspunkten in der

Produktoptik. Des Weiteren wurde beobachtet, dass das Produkt sehr leicht in die einzelnen Bohnen zerfällt, da das Myzel nicht dicht genug ausgeprägt war, um die Bohnen zusammenzuhalten. Zudem empfanden die Prüfpersonen das Produkt als zu hart und wünschten sich die Bambara-Erdnuss zerkleinert. Trotz dieser Kritik erhielt das Produkt im Durchschnitt eine Texturbewertung von $5,2 \pm 1,3$ Punkten. Der von den Prüfpersonen als neutral, leicht pilzig und bitter beschriebene Geschmack erhielt $5,8 \pm 1,3$ Punkte. Aufgrund der Gesamtbeurteilung mit $4,8 \pm 0,8$ Punkten für den Prototypen (Versuch 1), wurde ein Verbesserungsversuch (Versuch 2) durchgeführt.



Abb. 4 Endprodukt des Tempeh-Versuchs 1 mit *Rhizopus oligosporus* (Eigene Aufnahme, 2024)

In dem Versuch 2 konnten die erwähnten Hauptmängel durch veränderte Prozessbedingungen teilweise behoben bzw. verbessert werden. Es zeigte sich, dass durch eine um 6 h verlängerte Fermentationszeit das Myzel die Bohnen vollständiger und dichter umhüllen konnte. Die Spinneneier-Assoziation blieb jedoch bestehen. Weiter wurde durch das Wenden der Probe der Bodenabsatz verringert. Dagegen wurde die schwarze Oberfläche, welche auf eine Sporenbildung hindeutet, optisch von den Prüfpersonen kritisiert. Die um 2,0 Beliebtheitspunkte gestiegene Benotung des Aussehens ($4,8 \pm 0,8$) ist aber nicht signifikant. Das dichtere Myzel sorgte zudem für eine stabilere Form des Probenblocks, der jedoch beim Schneiden immer noch leicht auseinanderfiel. Die Halbierung der Bambara-Erdnuss schien den Prüfpersonen auch besser gefallen zu haben. Im Geschmack ($5,8 \pm 1,1$) konnte keine Verbesserung erzielt werden.

Die Beliebtheitssteigerung um 1,0 Punkt in der Textur ($6,2 \pm 1,5$) und die der Gesamtakzeptanz auf $6,2 \pm 0,8$ Punkte sind jedoch nicht signifikant.

Im Versuch 3 (s. Abb. 5) konnte die Sporenbildung durch Reduzierung der Fermentationstemperatur um 5 °C trotz verlängerter Fermentationszeit um 10 h verhindert werden. Ein stärkeres Myzelwachstum um die Bohnen begünstigte das Zusammenhalten der Bohnenhälften. Der „Spinneneier-Effekt“ konnte somit vermieden werden. Prüfpersonen beschrieben nun die Probenoptik von dem nicht weiterbehandelten Tempeh-Endprodukt (Versuch 3a) als nougatartig. Ein Zerschneiden war nun problemlos möglich. Auch ein engeres Einwickeln in Alufolie sorgte für die Ausbildung eines stabilen Produktblockes und erleichterte das Wenden während der Fermentation. Des Weiteren war kein Bodensatz zu erkennen. Diese Optimierungen erzielten eine im Vergleich zum Versuch 1 signifikante Steigerung ($p = 0,008$) des Akzeptanzwertes im Aussehen auf $6,2 \pm 0,8$ Punkte.



Abb. 5 Endprodukt des Tempeh-Versuchs 3a mit *Rhizopus oligosporus* (Eigene Aufnahme, 2024)

Eine starke Beliebtheitssteigerung in allen Kriterien wurde bei Versuch 3b durch das Anbraten mit Öl erzielt. Der von den Prüfpersonen beschriebene „Brathähnchen“-Geruch war ausschlaggebend für die Beliebtheitssteigerung von $7,8 \pm 1,3$ Punkten und unterscheidet sich signifikant zu den Ergebnissen der vorangegangenen Versuche 2 und 3a ($p = 0,001$) und auch zum ersten Prototyp Versuch 1; $p < 0,0001$) signifikant. Auch der als leicht fleischig und röstig wahrgenommene Geschmack gefiel den Prüfpersonen ($6,8 \pm 0,8$), verbesserte sich signifikant zu dem ungebratenen Versuch 3a ($p = 0,049$). Im Optischen

erinnerte das gebratene Produkt von Versuch 3b an geröstete Nüsse und trug laut Prüfpersonen zu $6,8 \pm 1,5$ Akzeptanzpunkten bei, was sich zum ersten Versuch signifikant ($p = 0,002$) unterscheidet. Die knusprige Außenseite des Tempeh wurde insgesamt positiv bewertet. Die Texturbewertung mit $6,8 \pm 0,8$ Punkte verbesserte sich nicht signifikant. Der Tempeh-Prototyp konnte in der Gesamtakzeptanz von $7,2 \pm 1,3$ Punkten eine Signifikanz ($p = 0,004$) zum Versuch 1 erzielen.

5.1.3 Natto-Vorversuche mit *Bacillus subtilis var. natto*

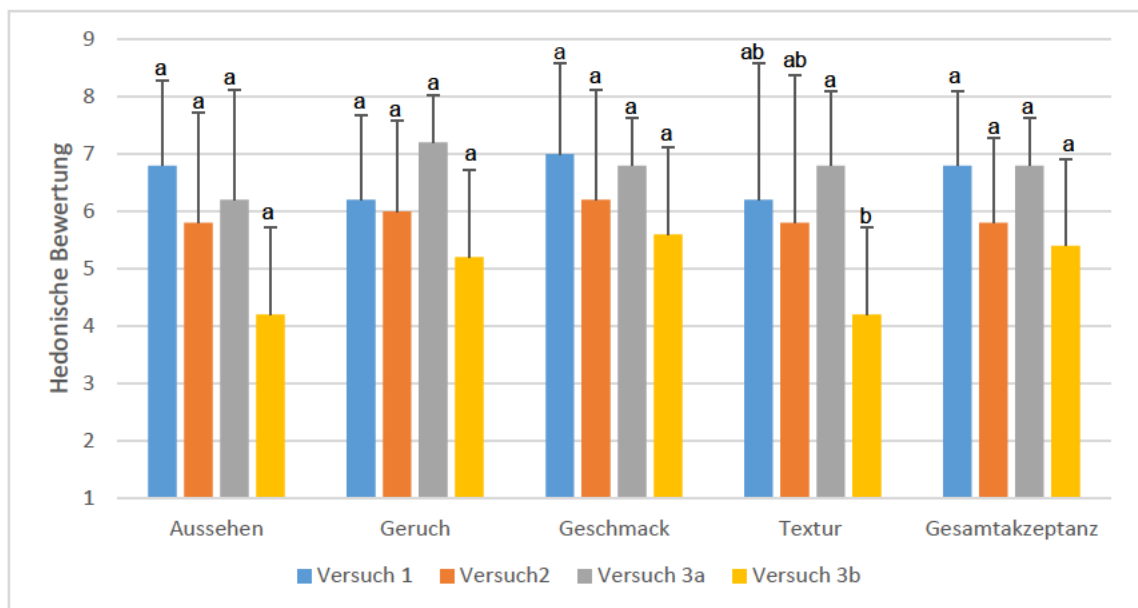


Abb. 6 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Natto-Vorversuche mit *Bacillus subtilis var. natto*, ($n = 5$). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test (Versuch 1: Startfermentation; Versuch 2: Sporenmenge um 250 mg erhöht; Versuch 3a: karamellisiert; Versuch 3b: geröstet).

Die vier Natto-Versuche mit *Bacillus subtilis var. natto* sind in ihren Beliebtheitseinschätzungen in Abbildung 6 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Prüfpersonen sehr unterschiedlich bewertet haben, denn die Standardabweichungen sind sehr hoch und der Tukey's HSD Post-hoc-Test zeigt nur für Textur signifikante Unterschiede zwischen Probenpaaren.

Bereits der erste Vorversuch erhielt Bewertungen im positiven Akzeptanzbereich und eine hohe Gesamtakzeptanz von $6,8 \pm 1,5$ Punkten. Den Prüfpersonen gefiel der milde Geschmack mit $6,2 \pm 1,5$ Punkten. Verbesserungsbedarf wurde mehrheitlich (4 von 5 Prüfpersonen) im Hinblick auf ein intensiveres und

homogeneres Geschmacksprofil geäußert. Bohnen in der unteren Probenschicht wurden als geschmacksneutral empfunden, Bohnen an der Probenoberfläche als mild und süßlich. Beim Geruch wurde ein leicht käsiges Aroma wahrgenommen, welches mit $6,2 \pm 1,5$ Punkten auf leichtes Gefallen stieß. Die gleiche Bewertung erhielt die als klebrig wahrgenommene Textur. Große Uneinigkeit wurde in Bezug auf das Texturgefallen ($SD \pm 2,4$) beobachtet und bestand besonders in den ausgebildeten, kurzen Fäden zwischen den Bambara-Erdnüssen (s. Abb. 7). Zudem gab es mehrheitlich (bei 4 von 5 Prüfpersonen) die Ansicht, dass das Produkt einen guten herzhaften oder süßen Snack darstellen könnte.



Abb. 7 Endprodukt des Natto-Versuchs 1 mit *Bacillus subtilis var. natto* (Eigene Aufnahme, 2024)

In einem weiteren Versuch sollte die Erhöhung der Starterkultur um 250 mg eine stärkere Fermentation und somit einen intensiveren Geschmack bewirken. Dies gelang laut Prüfpersonen, jedoch empfanden sie den schwächeren Geschmack des Produktes aus Versuch 1 als angenehmer und bewerteten den Geschmack mit $6,2 \pm 1,9$ Punkten. Diese Gefallensabnahme ist jedoch nicht signifikant. Die erhöhte Bakterienmenge bewirkte vermutlich die Ausbildung längerer Fäden, einer sehr klebrigen Produktoberfläche und eines stärker von den Prüfpersonen wahrgenommenen Geruches. Diese Veränderungen wurden negativ angemerkt, führten im Geruch ($6,0 \pm 1,6$), im Geschmack ($6,2 \pm 1,9$) und in der Optik ($5,8 \pm 1,9$) zu nicht signifikanten Beliebtheitsabnahmen. Eine von den Prüfpersonen beschriebene Verbesserung wurde in einer geschmacklich homogeneren Probe erreicht. Die Gesamtakzeptanz für dieses Produkt sank nicht signifikant auf $5,8 \pm 1,5$ Punkte.

Im dritten Versuch sollten zwei Snack-Varianten getestet werden. Es zeichnen sich Beliebtheitsunterschiede zwischen der gerösteten (Versuch 3a) und der süßen Variante (Versuch 3b) ab, die jedoch nur in der Textur signifikant ($p = 0,038$) sind. In der im Ofen gerösteten, salzigen Variante gefiel den Prüfpersonen der entstandene röstige Geruch sowie die knackige äußere Hülle. Es resultierten Durchschnittsbewertungen von $7,2 \pm 0,8$ bzw. $6,8 \pm 1,3$ Punkten für Geruch und Textur. Der positiv bewertete Geschmack ($6,8 \pm 0,8$) überzeugte die Prüfpersonen durch die Röstnoten. Von 2 Prüfpersonen wurde ein scharfer, verbrannter Nachgeschmack wahrgenommen und bemängelt. Von den sensorischen Merkmalen wurde das Aussehen mit $6,2 \pm 1,9$ Punkten am niedrigsten beurteilt. Kritisiert wurde das verbrannte Aussehen.

Hinsichtlich der süßen Natto-Variante fielen die Beurteilungen wie folgt aus: Starkes Missfallen äußerten die Prüfpersonen aufgrund der klebrigen äußeren Zuckerhülle, welche beim Kauen zwischen den Zähnen klebte und vorwiegend die Texturbenotung von $4,2 \pm 1,6$ Punkte verantwortete. Dieses Produkt unterschied sich signifikant ($p = 0,038$) zur gerösteten Variante. Das Aussehen erhielt ebenfalls $4,2 \pm 1,3$ Punkte. Prüfpersonen bemängelten die klebrige und glänzende Optik. Der als karamellig und nussig beschriebene Geschmack bewegt sich mit $5,6 \pm 1,8$ Punkten in Richtung des Gefallen-Bereiches. Angemerkt wurde, wie bei der gerösteten Variante, von 2 Prüfern ein scharfer, angebrannter Nachgeschmack. Die Gesamtakzeptanz mit $5,4 \pm 1,5$ Beliebtheitspunkten bewegt sich in Richtung positiven Akzeptanzbereichs.

5.1.2 Koji-Vorversuche mit *Aspergillus awamori*

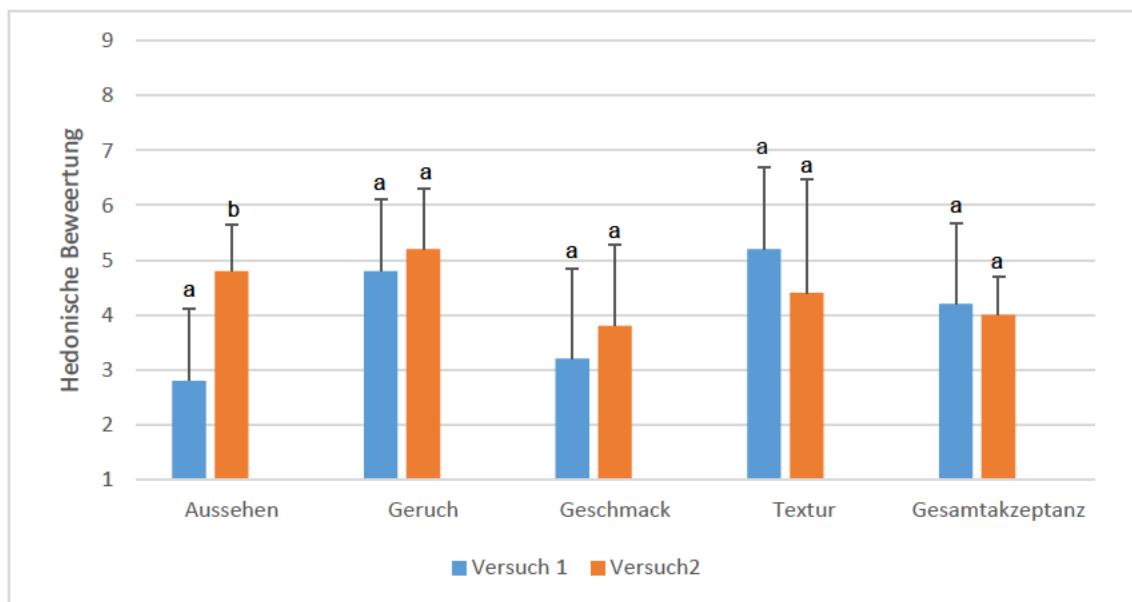


Abb. 8 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Koji-Vorversuche mit *Aspergillus awamori*, (n = 5). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test (Versuch 1: Startfermentation; Versuch 2: Fermentationszeit/-temperatur um 33 h /5 °C reduziert).

Die zwei Koji-Vorversuche mit *Aspergillus awamori* sind mit ihren mittleren Beliebtheitswerten in Abbildung 8 dargestellt. Das Endprodukt des ersten Vorversuchs von *Aspergillus awamori* wird von den Prüfpersonen stark kritisiert. Einer der häufig von den Prüfpersonen genannten Mängel war, wie in Abbildung 9 ersichtlich, die grün-schwarze Oberfläche, welche auf Sporenbildung zurückzuführen ist. Die Prüfpersonen stellten eine geschmackliche Inhomogenität des Produktes fest. Die Außenseiten wurden als viel zu sauer (laut Prüfern mit Zitronengeschmack zu vergleichen), das Innere als leicht pilzig und blumig wahrgenommen. Diese Inhomogenität war ein genannter Grund für die Unbeliebtheit des Geschmacks mit $3,2 \pm 1,6$ Punkten und der Optik mit $2,8 \pm 1,3$ Punkten. Der als muffig, schimmelig und pilzig beschriebene Geruch missfiel den Prüfpersonen und führte mitunter zu der Benotung von $4,8 \pm 1,3$ Punkten. Die als weiche und samtig empfundene Textur bewegt sich in Richtung Gefallen-Bereich ($5,2 \pm 1,5$). In der Gesamtakzeptanz erreichte der Prototyp durchschnittlich $4,2 \pm 1,5$ Punkte und hat nur knapp die gesetzte Grenze von 4,0 Beliebtheitspunkten für einen weiteren Verbesserungsversuch (Versuch 2) überschritten.



Abb. 9 Endprodukt des Koji-Versuchs 1 mit *Aspergillus awamori* (Eigene Aufnahme, 2024)

Durch die Reduzierung der Fermentationszeit um 33 h sowie der Reduktion der Temperatur um 5 °C sollte zur Minimierung des Säuregeschmacks, Abmilderung des intensiven Geruchs und Verhinderung der Sporenbildung führen. Laut Prüfpersonen zeigte sich diesbezüglich geschmacklich und olfaktorisch kein Unterschied. Durch Verhinderung der Sporenausbildung verbesserte sich laut Prüfpersonen die Produktoptik ($4,8 \pm 0,84$). Das Produkt wirkte mit dem leicht flauschigen und weißen Aussehen auf die Prüfer nicht mehr abstoßend (s. Abb. 10). Eine signifikante Optikverbesserung ($p = 0,047$) um 2,0 Beliebtheitspunkte wurde erzielt. Das homogenere Geschmacksprofil hat laut Prüfpersonen zu der gestiegenen, aber nicht signifikanten Geschmackssteigerung ($3,8 \pm 1,48$) beigetragen. Die Gesamtakzeptanz des Produktes sank nicht signifikant und liegt weiterhin mit $4,0 \pm 0,7$ Punkten im Missfallen-Bereich.



Abb. 10 Endprodukt des Koji-Versuchs 2 mit *Aspergillus awamori* (Eigene Aufnahme, 2024)

5.1.4 Koji-Vorversuch mit *Aspergillus oryzae*

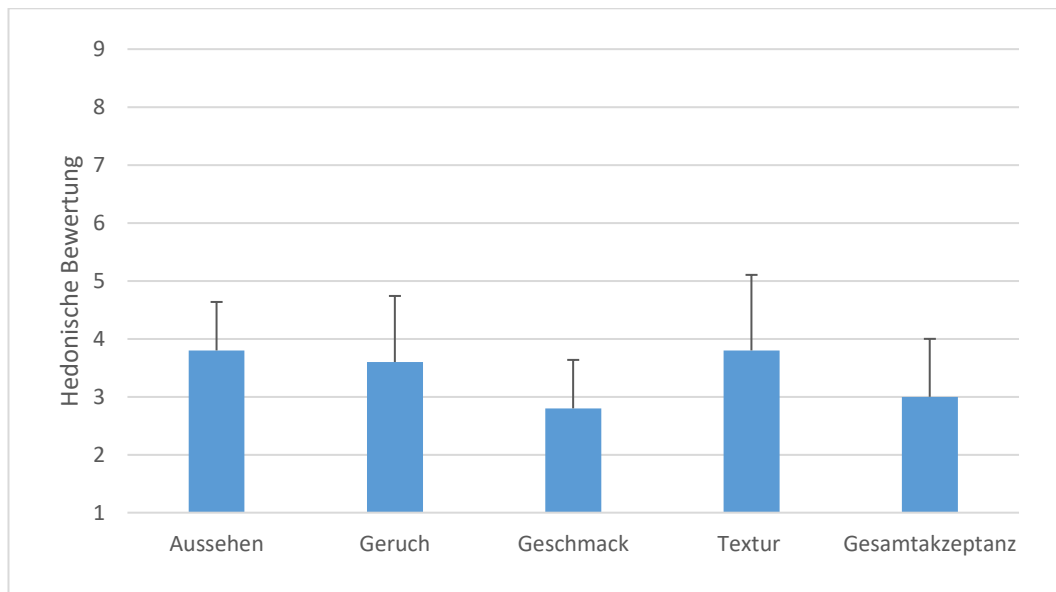


Abb. 11 Mittelwerte aus der hedonischen Bewertung der Koji-Vorversuch mit *Aspergillus oryzae*, (n = 5). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten.

In der Abbildung 11 sind die Mittelwerte des Koji-Vorversuches mit *Aspergillus oryzae* veranschaulicht. Das entstandene Endprodukt dieser Starterkultur zeigte zahlreiche Mängel, welche die geringen durchschnittlichen Bewertungen von unter 4,0 Punkten im Missfallen-Bereich erklären. Ähnlich wie bei dem *Aspergillus awamori* wurden hauptsächlich der muffige Geruch ($3,6 \pm 1,1$) und der Geschmack ($2,8 \pm 0,8$) kritisiert. Der Geschmack wurde jedoch nicht wie beim *Aspergillus awamori* als sauer, sondern als muffig und leicht erdig beschrieben. Die höchsten Beliebtheitspunkte erhielten die Produktoptik sowie -textur mit je $3,8 \pm 0,84$ bzw. $3,8 \pm 1,3$ Punkten. Laut Prüfpersonen ähneln Textur und Aussehen dem Prototyp von Versuch 2 mit *Aspergillus awamori*. Die Optik wurde dabei als weiß, pelzig wie gezuckerte Mandeln beschrieben (s. Abb. 12). Aufgrund der Unbeliebtheit in der Gesamtakzeptanz mit nur $3,0 \pm 1,0$ Punkten, wurde von weiteren Versuchen abgesehen.



Abb. 12 Endprodukt des Koji-Versuchs mit *Aspergillus oryzae* (Eigene Aufnahme, 2024)

5.1.5 Fazit der Vorversuche

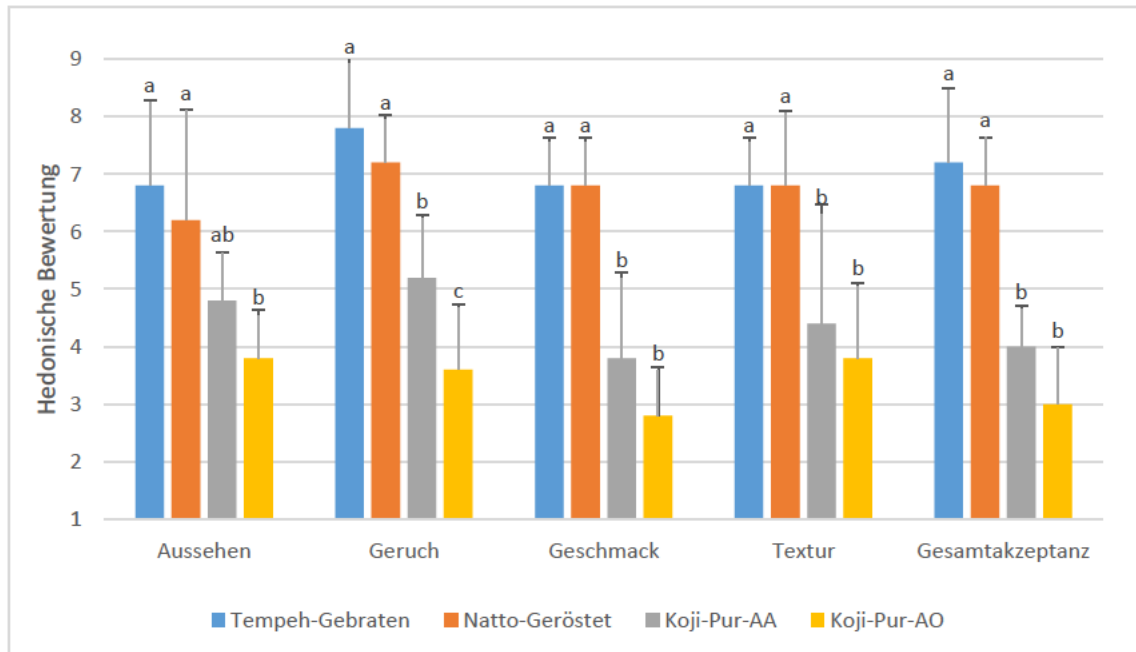


Abb. 13 Mittelwerte des beliebtesten Vorversuches je Starterkultur im Rahmen der Voruntersuchungen, (n = 5). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test (Tempeh-Gebraten: Versuch 3b mit *Rhizopus oligosporus*; Natto-Geröstet: Versuch 3a mit *Bacillus subtilis*; Koji-Pur-AA: Versuch 2 mit *Aspergillus awamori*; Koji-Pur-AO: Versuch mit *Aspergillus oryzae*).

In der Abbildung 13 ist der in der Gesamtakzeptanz am höchsten benotete Vorversuch von jeder Fermentationskultur abgebildet. Dieser war bei den Tempeh-Vorversuchen mit *Rhizopus oligosporus* der gebratene Versuch 3b (Tempeh-Gebraten), bei den Natto-Vorversuchen mit *Bacillus subtilis* var. *natto* der geröstete Versuch 3a (Natto-Geröstet). Bei den Koji-Vorversuchen waren es

der Versuch 2 mit *Aspergillus awamori* (Koji-Pur-AA) und der einzige Versuch mit *Aspergillus oryzae* (Koji-Pur-AO).

Es ist ersichtlich, dass beide Vorversuche mit den *Aspergillus*-Stämmen in den sensorischen Kategorien mit Punkten von 2,8 - 5,2 deutlich unbeliebter als die beiden Prototypen der anderen Starterkulturen sind. Diese ordnen sich mit Punkten von 6,2 - 7,8 im Gefallen-Bereich ein. Im Geschmack konnten signifikante Beliebtheitsunterschiede zwischen den Koji-Prototypen mit *Aspergillus awamori* bzw. *oryzae* und den beiden anderen Prototypen (Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet) nachgewiesen werden. Signifikant geringere Bewertungen sind zwischen Tempeh- bzw. Natto-Prototyp und den Koji-Prototypen mit *Aspergillus awamori* (jeweils $p = 0,004$) und mit *Aspergillus oryzae* (jeweils $p = 0,0003$) vorhanden. Der Tempeh-Gebraten ist gegenüber dem Koji-Pur-AA auch in den übrigen Kategorien signifikant beliebter. Im Aussehen mit $p = 0,041$, im Geruch mit $p = 0,0004$ und in der Textur mit $p = 0,022$. Signifikant höhere Akzeptanzwerte im Geruch ($p = 0,002$) und in der Textur ($p = 0,022$) liegen zwischen Koji-Pur-AO und Natto-Geröstet vor. Die geringen Beliebtheitsunterschiede zwischen dem Tempeh-Vorversuch und dem Natto-Vorversuch sind in keiner Kategorie signifikant.

Die Prototypenauswahl für die Hauptversuche fand auf Basis der Benotung der Gesamtakzeptanz statt. Der Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet gefielen den Prüfpersonen signifikant besser als die Koji-Prototypen von *Aspergillus awamori* ($p = 0,0003$ bzw. $0,001$) und *Aspergillus oryzae* (jeweils $p < 0,0001$). Zwischen dem Tempeh- und Natto-Prototypen konnte keine Signifikanz ($p = 0,541$) nachgewiesen werden, weshalb beide für die Hauptuntersuchung ausgewählt wurden.

5.2 Auswertung der Hauptversuche

Im folgenden Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der sensorischen Bewertung mit dem trainierten Sensorikpanel des Rohstoffes (Standard) mit den Tempeh- bzw. Natto-Prototypen dargestellt. Im Anschluss folgen die hedonischen Bewertungen der Mitarbeiter mit den Attributbewertungen und dem Optimierungsbedarf. Da die Panelperformance-Daten als Betriebsinterna klassifiziert wurden, werden diese Daten nicht im Rahmen dieser Arbeit

veröffentlicht. Vermerkt werden kann jedoch, dass das Panel Schwierigkeiten hatte, die Proben auf Basis des Attributes „erdig“ zu diskriminieren und aufgrund dessen aus der Attributliste gestrichen wurde.

5.2.1 Vergleich der Attributintensitäten von Tempeh-Prototypen und Standard

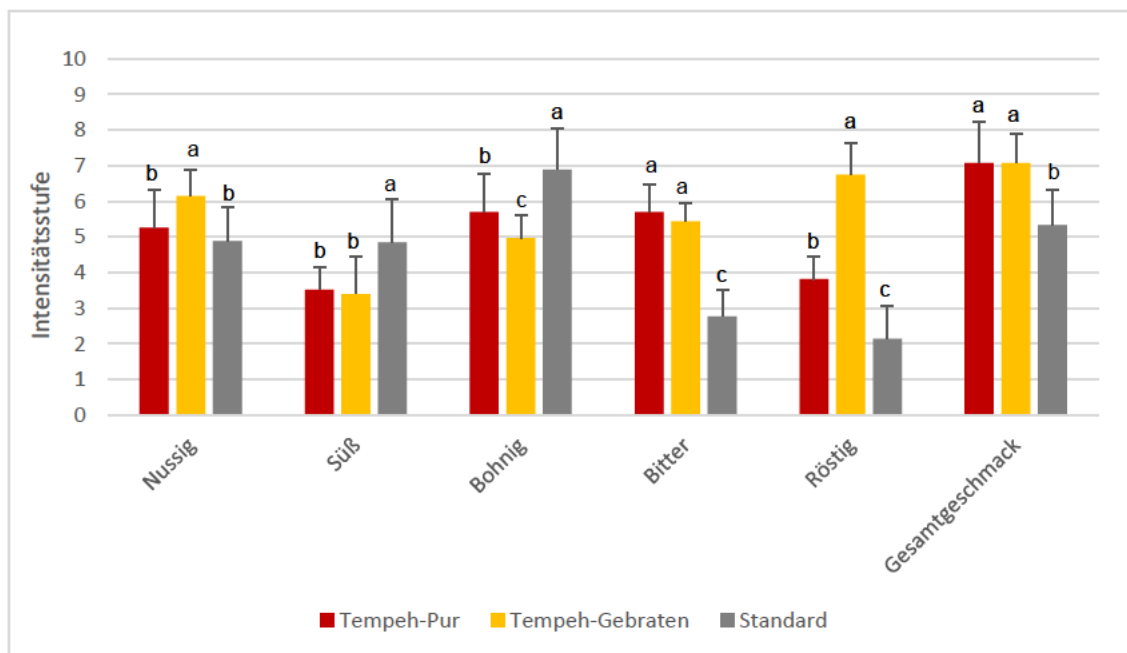


Abb. 14 Intensitäts-Mittelwerte der Geschmacks-Attribute von den Tempeh-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

Die Abbildung 14 veranschaulicht die Intensitätsunterschiede der Geschmacksattribute zwischen den mit *Rhizopus oligosporus* fermentierten Tempeh-Prototypen und den gekochten Bambara-Erdnüssen als Standard. Im ersten Geschmacksattribut nussig wurden nur marginale Intensitätsunterschiede zwischen dem Standard und Tempeh-Pur beobachtet, denn beide liegen mit etwa 5 Punkten bei einer mittleren Nussigkeit. Diese weisen jedoch keine Signifikanz auf ($p = 0,366$). Eine signifikante ($p < 0,0001$), leicht intensivere Nuss-Note als bei den gekochten Bohnen liegt beim Tempeh-Gebraaten mit $6,1 \pm 0,7$ Punkten vor. Der Intensitätsunterschied von 1,1 Punkten zwischen den fermentierten Prototypen ist mit $p = 0,0002$ signifikant. In der Süße ist der Standard mit einer mäßigen Süße von $4,9 \pm 1,2$ Intensitätspunkten signifikant süßer als die beiden Tempeh-Produkte ($p < 0,0001$). Beide Tempeh-Produkte

weisen mit $3,5 \pm 0,6$ (Tempeh-Pur) und $3,4 \pm 1,0$ (Tempeh-Gebraten) eine schwache Süße auf. Auch die Bohnigkeit ist bei dem Standard mit $6,9 \pm 1,2$ Punkten signifikant ($p < 0,0001$) am stärksten ausgeprägt. Tempeh-Pur liegt bei einer etwas geringeren Bohnigkeit ($5,7 \pm 1,1$), wohingegen das gebratene Produkt mit $4,9 \pm 0,6$ Punkten am wenigsten bohlig wahrgenommen wurde. Beide Fermentationsprodukte sind signifikant verschieden ($p = 0,0003$). Größere Unterschiede treten in der Bitterkeit auf. Der Standard hat mit nur $2,8 \pm 0,8$ Punkten einen schwachen Bittergeschmack, welcher sich signifikant zu den fermentierten Produkten mit $5,4 \pm 0,5$ (Tempeh-Gebraten; $p < 0,0001$) und $5,7 \pm 0,8$ (Tempeh-Pur; $p < 0,0001$) unterscheidet. Im Hinblick auf die Röst-Note unterscheiden sich alle Produkte signifikant. Der Standard mit $2,1 \pm 0,9$ Intensitätspunkten ist sehr wenig röstig. Der stark röstige Tempeh-Gebraten ($6,7 \pm 0,9$), welcher vermutlich durch das Anbraten die Röstaromen entwickelt hat, hebt sich dagegen signifikant ($p < 0,0001$) ab. Ebenfalls Tempeh-Pur ist mit $3,8 \pm 0,6$ Intensitätspunkten signifikant ($p < 0,0001$) röstiger als der Standard, aber deutlich weniger röstig als die gebratene Variante. Insgesamt ist die Gesamtgeschmacksintensität der gekochten Bohnen (Standard) im Vergleich zu beiden fermentierten Produkten signifikant ($p < 0,0001$) von einer mittleren ($5,3 \pm 1,2$) zu einer hohen Intensität ($7,1 \pm 0,8$) durch die Bearbeitungsprozesse angestiegen.

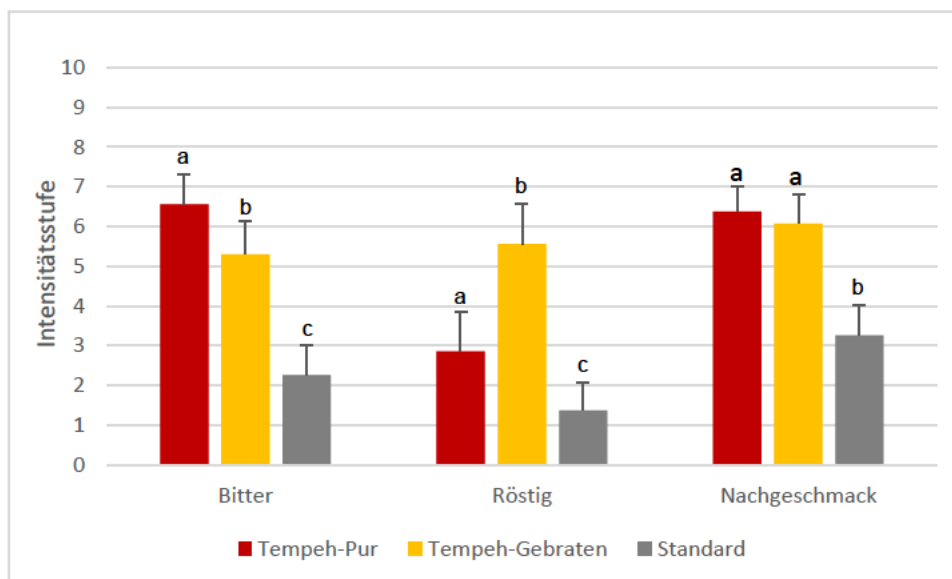


Abb. 15 Intensitäts-Mittelwerte der Nachgeschmacks-Attribute von den Tempeh-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

Mit Blick auf die Nachgeschmacks-Attribute in Abbildung 15 lässt sich im Gesamtnachgeschmack gleiches verzeichnen wie bei dem Attribut Gesamtgeschmack. Der Standard ist mit $3,3 \pm 0,8$ Punkten im Gesamtnachgeschmack signifikant ($p < 0,0001$) viel schwächer als die fermentierten Prototypen mit $6,4 \pm 0,6$ und $6,1 \pm 0,7$ Punkten. Auffallend ist der bittere Nachgeschmack, denn die Bitterkeit steigt bei Tempeh-Pur ($6,6 \pm 0,8$) um 0,6 Intensitätspunkte. Gegensätzlich verhält es sich bei dem Standard ($2,2 \pm 0,8$) und Tempeh-Gebraten ($5,3 \pm 0,8$), wo es zu einer leichten Abschwächung in der Bitterkeit kommt. In dem röstigen Nachgeschmack kann bei allen Produkten eine Intensitätsminderung von ca. -1 Punkt beobachtet werden. Mit $1,4 \pm 0,8$ Punkten liegt der Standard knapp über der Erkennungsschwelle von 1,0 Punkten und kann nur noch sehr schwach wahrgenommen werden. Die gekochten Bohnen unterscheiden sich damit signifikant ($p < 0,0001$) zu den Fermentationsprodukten.

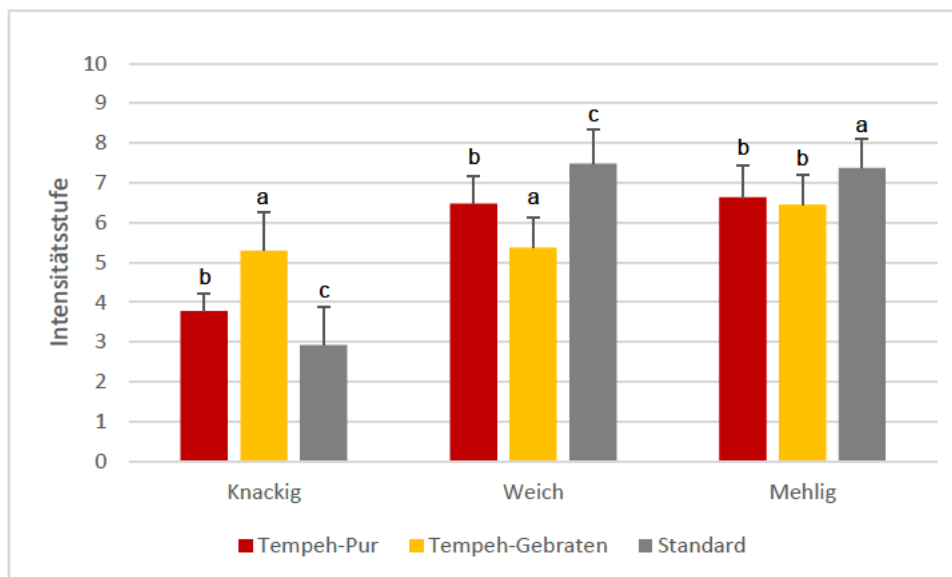


Abb. 16 Intensitäts-Mittelwerte der Texturattribute von den Tempeh-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

Die Texturattribute in Abbildung 16 zeigen geringere Standardabweichungen ($SD \leq 1,0$) in den Intensitätsbewertungen als die Geschmacksattribute auf. Die Intensitätsunterschiede zwischen dem Standard und den Tempeh-Produkten sind in allen Attributen signifikant. In der Mehligkeit sind die geringsten Abweichungen von weniger als 1 Intensitätspunkt zum Standard zu beobachten.

Die Produkte besitzen mit über 6 Punkten ein stark mehliges Innenleben, wobei der Standard mit $7,4 \pm 0,7$ Punkten am mehligsten ist und mit $p = 0,001$ (Tempeh-Pur) bzw. mit $p < 0,0001$ (Tempeh-Gebraten) signifikant zu den Fermentationsprodukten ist. Hinsichtlich der Weichheit des Produktinneren ist ebenfalls der Standard mit $7,5 \pm 0,8$ Punkten am weichsten. Damit unterscheiden sich die gekochten Bohnen signifikant zu dem härteren Produktinneren des gebratenen Tempehs ($5,4 \pm 0,7$; $p < 0,0001$) und zu dem reinen Tempeh ($6,4 \pm 0,7$; $p < 0,0001$), welcher jedoch signifikant weicher ist als Tempeh-Gebraten ($p < 0,0001$). Generell ist festzuhalten, dass der Fermentationsprozess zu einem signifikant härteren Innerem des Produktes geführt hat. Im Hinblick auf die äußere Hülle des Produktes wurde die Knackigkeit bewertet. Das Äußere des Standards ist mit $2,9 \pm 1,0$ Punkten nur gering knackig. Ähnlich ist es beim Tempeh-Pur, welcher jedoch mit $3,8 \pm 0,4$ Punkten eine signifikante ($p = 0,0005$), leicht knackigere Hülle als die gekochten Bohnen besitzt. Die gebratene Variante hat mit $5,3 \pm 1,0$ Punkten das knackigste Produktäußere, welches durch das beidseitige Anbraten erklärbar ist und sich signifikant zum Standard ($p < 0,0001$) und zur ungebratenen Tempeh-Variante ($p < 0,0001$) unterscheidet.

5.2.2 Vergleich der Attributintensitäten von Natto-Prototypen und Standard

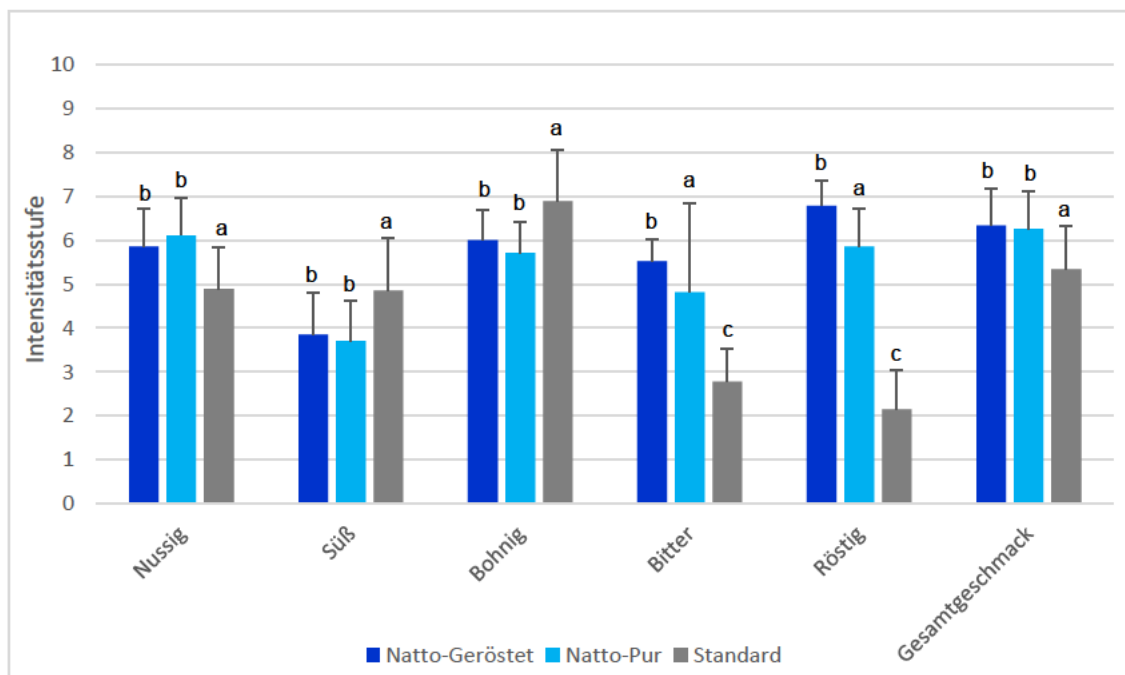


Abb. 17 Intensitäts-Mittelwerte der Geschmacks-Attribute von den Natto-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

In Abbildung 17 sind die Intensitäten der Geschmacks-Attribute von den Natto-Produkten und dem Standard dargestellt. Es kann beobachtet werden, dass sich die beiden Natto-Prototypen stärker in den Intensitäten gleichen und nur in bitter und röstig signifikante Unterschiede aufzeigen. In den Attributen nussig, süß, bohlig und Gesamtgeschmack sind die geringsten Intensitätsunterschiede zum Standard zu verzeichnen. Hier liegt zwischen den Natto-Produkten und dem Standard ungefähr 1 Intensitätsstufe. Dabei wird der Standard signifikant ($p < 0,0001$) etwas süßer und auch bohlig als die Natto-Produkte eingestuft. Der Bittergeschmack ist mit $2,8 \pm 0,8$ Punkten beim Standard nur schwach wahrnehmbar, die Natto-Produkte sind signifikant ($p = 0,042$) bitterer. Insbesondere Natto-Gebraten weist mit $5,5 \pm 0,5$ Punkten eine fast doppelt so hohe Intensität auf. Auffallend beim reinen Natto ist die hohe Standardabweichung ($4,8 \pm 2,0$), die auf geringen Konsens im Sensorikpanel schließen lässt. Die deutlichsten Intensitätsabweichungen zum Rohstoff sind in der Röstigkeit zu beobachten. Bei dem Standard wird mit $2,1 \pm 0,9$ eine sehr schwache Röst-Note wahrgenommen, wohingegen Natto-Geröstet mit $6,8 \pm 0,6$ am röstigsten ist. Diese signifikanten Ergebnisse ($p < 0,001$) lassen sich durch

das Rösten im Ofen erklären. Aber auch der ungeröstete Natto-Pur weist im Vergleich zum Standard eine signifikante, erhöhte Röst-Intensität ($5,9 \pm 0,9$; $p < 0,0001$) auf. In der Betrachtung des Gesamtgeschmacks weist der Standard ($5,3 \pm 1,0$ Punkte) eine signifikante, etwas geringere Geschmacksintensität auf als der Natto-Pur ($6,3 \pm 0,9$; $p < 0,0001$) und -Gebraten ($6,3 \pm 0,8$; $p < 0,0001$).

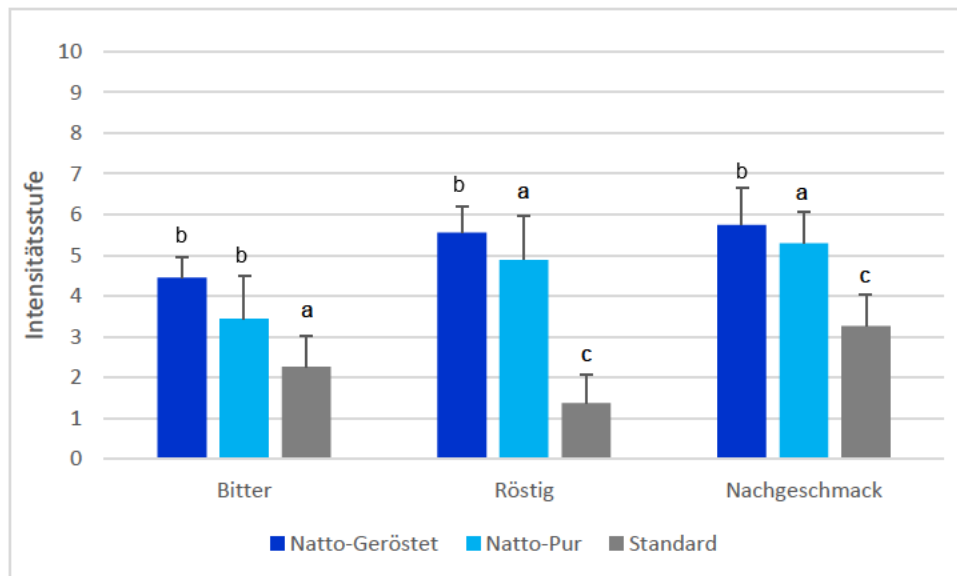


Abb. 18 Intensitäts-Mittelwerte der Nachgeschmacks-Attribute von den Natto-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

Die Betrachtung der mittleren Intensitätsstufen der Nachgeschmacks-Attribute in Abbildung 18 zeigen deutlich, dass die Intensitäten in bitter, röstig sowie im Gesamtnachgeschmack bei den Produkten abnehmen. In allen drei Attributen können die geringsten Intensitäten beim Standard beobachtet werden, die sich höchst signifikant ($p < 0,0001$) zu den Natto-Produkten unterscheiden. Den geringsten Nachgeschmack mit $2,3 \pm 0,8$ Intensitätspunkten kann bei dem Standard beobachtet werden. Dieser unterscheidet sich signifikant von dem intensiveren Nachgeschmack des puren ($5,3 \pm 0,8$) und des gerösteten Nattos ($5,7 \pm 0,9$). Die Röst-Note der fermentierten Prototypen sind mit Intensitäten von $6,6 \pm 0,6$ (Natto-Geröstet) und $4,9 \pm 1,1$ (Natto-Pur) noch deutlich im Nachgeschmack wahrnehmbar und unterscheiden sich signifikant ($p = 0,021$). Zu dem, mit $1,4 \pm 0,8$ Punkten, kaum vorhandenen röstigen Nachgeschmack bei den gekochten Bohnen unterscheiden sich die fermentierten Produkte beide höchst signifikant.

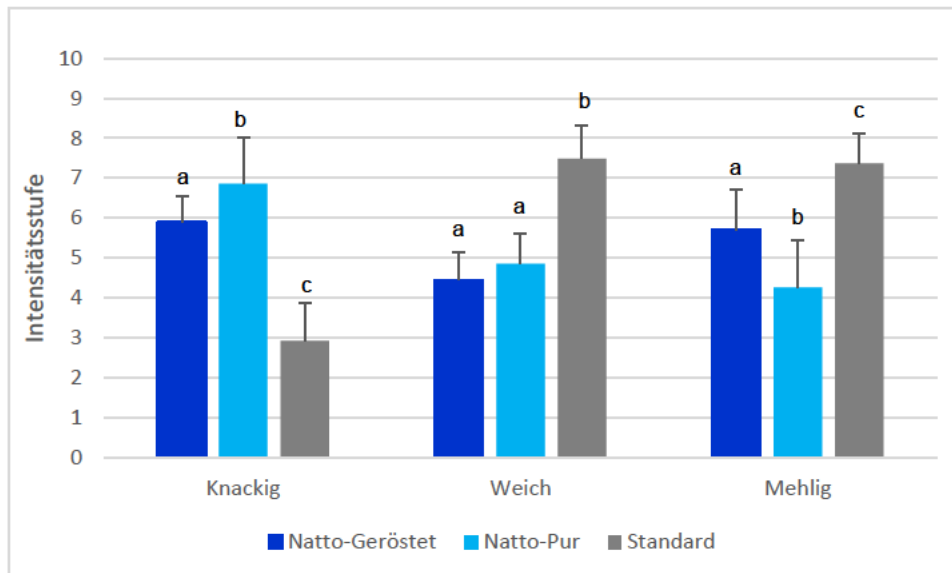


Abb. 19 Intensitäts-Mittelwerte der Texturattribute von den Natto-Prototypen und dem Standard im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen zu den Mittelwerten. Die Buchstaben zeigen die Gruppierungen bzw. signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) gemäß Tukey's HSD-Test.

In den drei untersuchten Texturattributen, welche in Abbildung 19 dargestellt sind, gibt es deutliche signifikante Abweichungen der Natto-Produkte zum Standard; allen voran in der Knackigkeit der äußeren Hülle. Der Standard ist mit $2,9 \pm 1,0$ am wenigsten knackig, wohingegen Natto-Geröstet mit $5,9 \pm 0,6$ beinahe doppelt so knackig ist. Natto-Pur hat sogar mit $6,9 \pm 1,2$ Intensitätspunkten eine noch knackigere Hülle. Diese Unterschiede zum Standard sind mit $p < 0,0001$ hoch signifikant. Bei der Betrachtung der Weichheit des Produktinneren ist der Standard mit $7,5 \pm 0,8$ Punkten signifikant weicher als der pure Natto ($4,9 \pm 0,8$; $p < 0,0001$) und der angeröstete Natto ($4,4 \pm 0,7$; $p < 0,0001$). Ebenso hebt sich die starke mehlig Textur bei dem Standard mit $7,4 \pm 0,8$ Intensitätspunkten signifikant ($p < 0,0001$) von Natto-Gebraten ($5,7 \pm 1,0$) und Natto-Pur ($4,3 \pm 1,2$) ab. Bei der gerösteten Variante können eher Tendenzen zu einer starken bzw. in der reinen Variante eher Tendenzen zu einer geringen mehlig Textur beobachtet werden, welche ebenfalls signifikant ($p < 0,0001$) sind.

5.2.3 Gesamtbeliebtheit des Geschmacks und Textur aller Produkte

In der Auswertung der mittleren Beliebtheit des Gesamtgeschmacks und der Gesamttextur wurde sich zusätzlich für eine Zentrierung der Mittelwerte

entschieden. Hintergrund sind die sehr großen Streuungen (s. Abb. 20 und 21), welche auf geringen Konsens und große Bewertungsunterschiede der Prüfpersonen (Mitarbeiter am ttz-Bremerhaven) hindeuten. Da diese Unterschiede zwischen den Prüfpersonen auch systematisch sein könnten, z. B. hier durch unterschiedliche Bewertungsstandards, und nicht auf tatsächliche Unterschiede der Produkte zurück zu führen sind, ist eine Zentrierung für eine bessere Vergleichbarkeit sinnvoll (Novustat 2024).

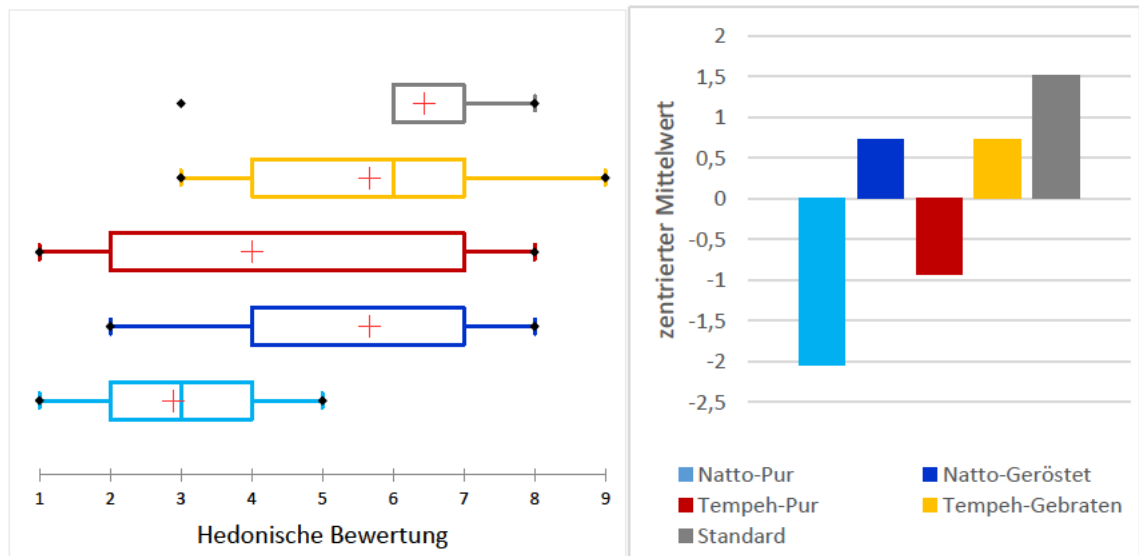


Abb. 20 Beliebtheitsbewertungen mit Mittelwerten (rote Kreuze) des Gesamtgeschmacks der Produkte (links) und die zentrierten Mittelwerte (rechts), (n = 9).

Die Abbildung 20 stellt links die hedonischen Beliebtheitsbewertungen des Gesamtgeschmacks von den Produkten in Form von Boxplots dar. Die roten Kreuze verdeutlichen die Mittelwerte. Die rechte Seite der Abbildung bildet diese Mittelwerte nach Zentrierung graphisch ab.

Zunächst werden die unzentrierten Mittelwerte der Gesamtbearbeitung im Geschmack betrachtet. Am besten gefiel der Standard bei einem Mittelwert von $6,4 \pm 1,4$ und einer relativ geringen Streuung. Abgesehen von einem Ausreißer bei 3 Punkten gefielen die gekochten Bohnen den Prüfpersonen gut. Auch Natto-Geröstet und Tempeh-Gebraten zeigen, mit Mittelwerten von $5,7 \pm 2,2$ bzw. $5,7 \pm 1,9$ Beliebtheitspunkten, ein leichtes Gefallen. Jedoch sind hier die Standardabweichungen und Streuungen größer und zeigen, dass einige Personen das Produkt auch im Missfallen-Bereich benotet haben. Dagegen weisen die reinen Fermentationsprodukte Mittelwerte im Missfallen-Bereich auf. Allem voran sticht Natto-Pur als das am schlechtesten bewertete Produkt hervor,

mit einem sehr geringen Mittelwert von $2,9 \pm 1,5$ Punkten. Hierbei wurden alle Benotungen unterhalb des Gefallen-Bereichs getroffen. Im Gegensatz dazu erhielt Tempeh-Pur von einigen Prüfpersonen auch im Gefallen-Bereich Bewertungen.

Durch die anschließende Zentrierung wird die geringe Bewertung von Natto-Pur, mit einem negativen Mittelwert von -2 , nun auch relativ bestätigt. Auch Tempeh-Pur wurde unterdurchschnittlich bewertet und verliert an relativer Wahrnehmung, da er mit einem negativen Mittelwert von etwa -1 noch schlechter dargestellt wird. Die anderen drei Produkte schneiden überdurchschnittlich ab. Natto-Geröstet und Tempeh-Gebraten jeweils mit einem zentrierten Mittelwert von $+0,73$. Aber insbesondere die absolute Stärke des Standards, mit einem zentrierten Mittelwert von $+1,5$, sticht nun auch relativ hervor.

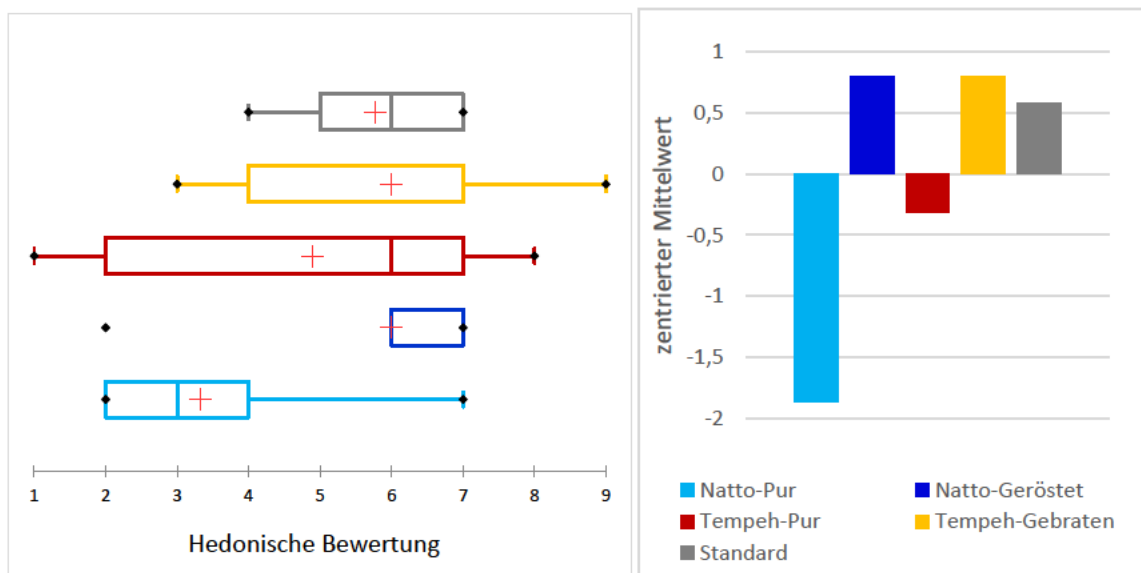


Abb. 21 Beliebtheitsbewertungen mit Mittelwerten (rote Kreuze) der Gesamttextur der Produkte (links) und die zentrierten Mittelwerte (rechts), ($n = 9$).

In Abbildung 21 sind die hedonischen Beliebtheitswerte der Gesamttextur (links) sowie die zentrierten Beliebtheits-Mittelwerte (rechts) der Produkte abgebildet. Die Betrachtung der Mittelwerte in den Boxplots zeigt eindeutig, dass der pure Natto mit einem Mittelwert von $3,3 \pm 1,7$ Beliebtheitspunkten am wenigsten gefällt, obwohl auch Einzelbenotungen im Gefallen-Bereich zu erkennen sind. Am beliebtesten sind Natto-Geröstet ($6,0 \pm 1,7$) und Tempeh-Gebraten ($6,0 \pm 1,9$). Dabei zeigt der gebratene Tempeh ebenfalls eine große Streuung vom Missfallen- bis Gefallen-Bereich auf. Natto-Geröstet hat dahingegen eine geringere Streuung mit nur einem Ausreißer bei 2 Punkten. Mit einem leicht

geringeren, durchschnittlichen Gefallen folgt der Standard ($5,8 \pm 1,2$). Im weder Gefallen-, noch Missfallen-Bereich reiht sich Tempeh-Pur mit $4,9 \pm 2,9$ ein. Dabei sind Bewertungen von 1 - 8 Punkten zu beobachten, die auf sehr geringen Konsens im Mitarbeiter-Panel schließen lassen.

Durch die anschließende Zentrierung werden die beiden puren Prototypen noch schlechter dargestellt. Insbesondere Natto-Pur mit einem negativen Mittelwert von etwa - 1,9 hebt sich deutlich von den anderen Produkten als schlecht bewertet hervor. Dagegen gewinnen Standard, Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet leicht an relativer Wahrnehmung. Somit bleiben Natto-Geröstet und Tempeh-Gebraten mit einem positiven zentrierten Mittelwert von + 0,8 die bestbewerteten Produkte.

Aus der obigen Auswertung lässt sich zusammenfassen, dass Natto-Pur, im Geschmack sowie im Mundgefühl, am unbeliebtesten ist. Seine absolute Schwäche wurde durch die Zentrierung auch relativ bestätigt. Am beliebtesten, auch nach Zentrierung, sind im Geschmack der Standard und im Mundgefühl die angebratenen bzw. gerösteten Fermentationsprodukte. Eine Signifikanz in der Beliebtheit des Gesamtgeschmacks liegt jedoch nur zwischen Standard und Natto-Pur ($p = 0,003$) bzw. Tempeh-Pur ($p = 0,011$) vor. Ebenso zwischen Natto-Pur und Natto-Geröstet bzw. Tempeh-Gebraten (beide mit $p = 0,003$). Im Mundgefühl sind Natto-Pur und Standard ($p = 0,012$) sowie Natto-Pur und Tempeh-Gebraten ($p = 0,005$) signifikant verschieden. Auch zwischen beiden Natto-Produkten kann eine Signifikanz ($p = 0,005$) nachgewiesen werden.

5.2.4 Penalty Analyse

In Anschluss werden für jedes Produkt zunächst die prozentualen Nennungen der drei JAR-Kategorien für jedes Attribut dargestellt. Anhand einer nachfolgenden Abbildung der Mean drops wird das Verbesserungspotenzial anhand signifikanter Mean drops erläutert.

5.2.4.1 Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Tempeh-Pur

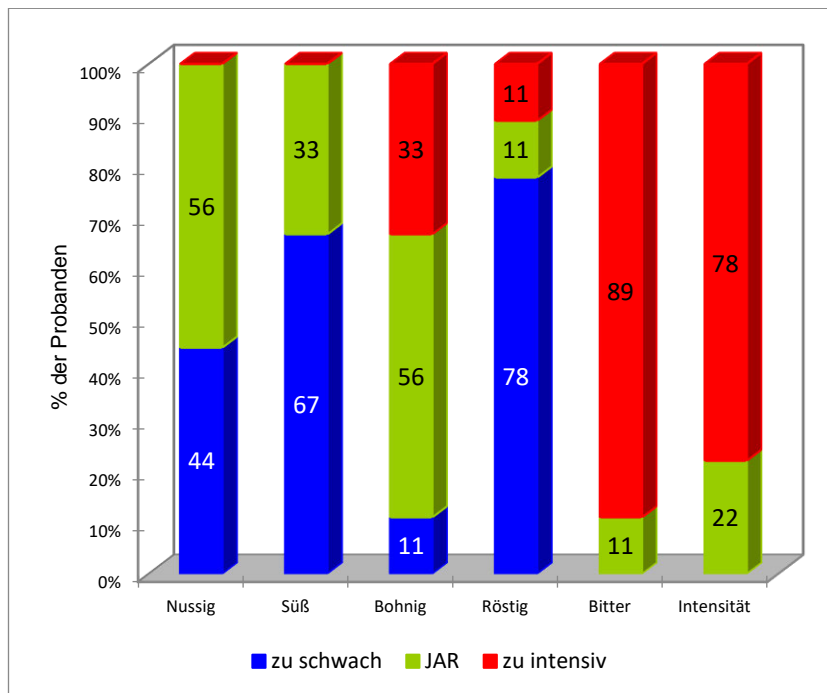


Abb. 22 Prozentuale Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Die Abbildung 22 stellt die prozentualen Nennungen der drei JAR-Kategorien von den Prüfpersonen in den einzelnen Geschmacksattributen graphisch dar. Jeweils die zwei zu geringen bzw. zu intensiven Ausprägungen wurden dafür zu je einer Kategorie zusammengefasst. Die Bewertungen der Attribute sind dabei teilweise sehr verschieden. So gibt es große Einigkeit in einer zu intensiven Bitterkeit (89 %) und in der Gesamt-Geschmacksintensität (78 %). Hohe Einigkeit liegt auch in den zu schwach ausgeprägten Attributen „röstig“ sowie „süß“ vor. Die Bohnigkeit und Nussigkeit hingegen wird von knapp der Mehrheit mit 56 % als optimal empfunden. 44 % nahmen die nussige Note als zu schwach wahr. Bei der dem bohningen Geschmack waren es hingegen nur 11 %, nur 33 % der Probanden war das Produkt zu bohinig.

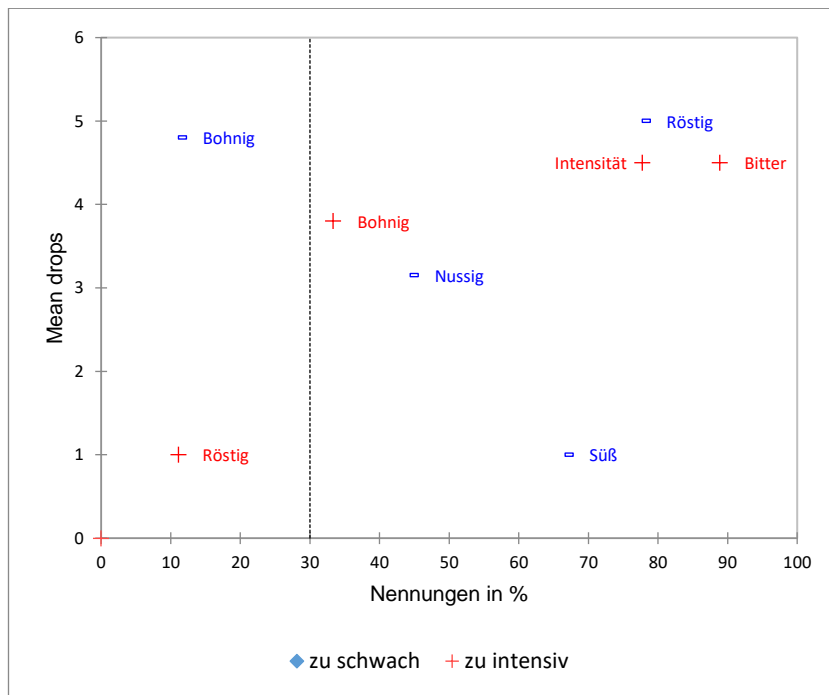


Abb. 23 Mean drops der Geschmacksattribute von Tempeh-Pur

Die Abbildung 23 bildet die Mean drops der Attributausprägungen in Abhängigkeit zu ihren prozentualen Nennungen ab. Die Mean drops veranschaulichen die Punktabzüge in der Gesamtbeliebtheit des Geschmacks, wenn die Attributausprägung nicht optimal ausgeprägt ist. Zu schwache Ausprägungen sind mit einem „-“ und zu intensive mit einem „+“ dargestellt. Der gekennzeichnete Schwellenwert bei 30 % der Nennungen ist die Grenze, die ein Mean drop für die Auswertung und Prüfung auf Signifikanz erzielen muss.

Die höchste Abwertung der Beliebtheit ist, mit einer Nennung von etwa 80%, bei einer zu schwachen Röstnote mit einem Mean drop von 5,0 beobachtet. Mit 4,5 Abzugspunkten folgen eine zu starke Bitterkeit und eine zu hohe Geschmacksintensität, welche ebenfalls von einem hohen Anteil der Probanden mit 89 % bzw. 78 % benannt wurden. Aber auch ein zu intensiver bohziger Geschmack und zu schwacher nussiger Geschmack führten zu Abwertungen. Zu geringsten Abzügen mit 1,0 Punkten kam es, wenn die Süße zu schwach war. Die Bewertungen von bohzig und röstig liegen unter der 30 %-Grenze der Nennungen und werden demnach nicht beachtet.

Diese Ergebnisse sind jedoch nur in dem Attribut „Intensität“ signifikant ($p = 0,039$), weshalb dieses in einer Produktoptimierung zur Beliebtheitssteigerung des Gesamtgeschmacks abgeschwächt werden sollte.

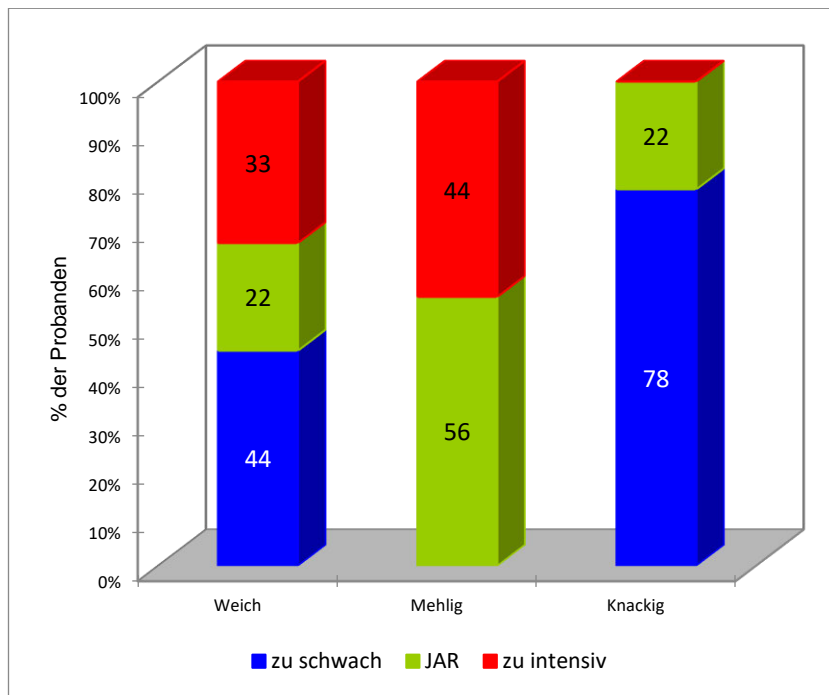


Abb. 24 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Die Abbildung 24 bildet die prozentualen Beurteilungen der Texturattribute in den zusammengefassten JAR-Kategorien ab.

Weniger als ein Viertel kategorisierten die Weichheit und die Knackigkeit als genau richtig. Der überwiegende Teil der Prüfpersonen, 44 % bei weich und 78 % bei knackig, fanden die Produkteigenschaften als zu schwach und 33 % war das Produktinnere zu weich. Das Innere war für 44 % der Verkoster zu mehlig. Die Mehrheit der Prüfpersonen (56 %) waren mit der Mehligkeit zufrieden.

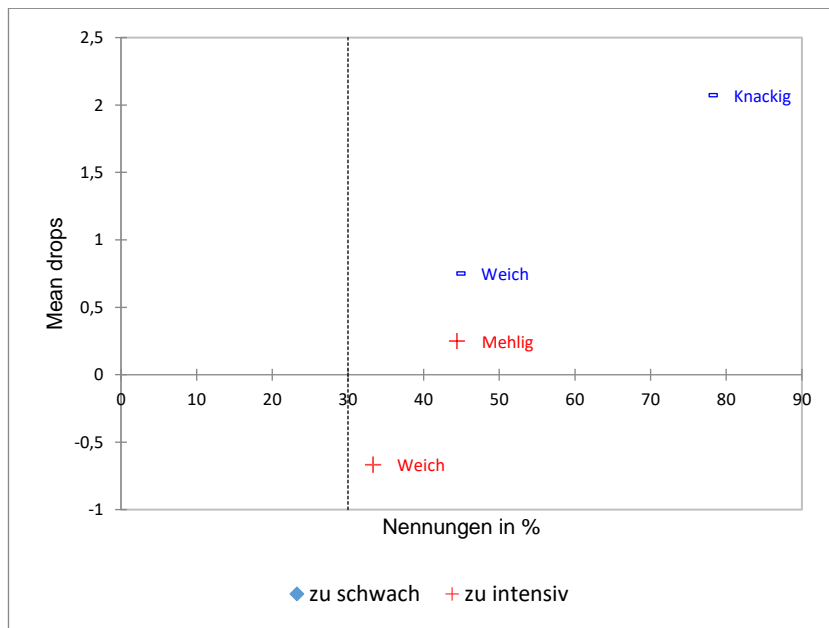


Abb. 25 Mean drops der Texturattribute von Tempeh-Pur

In Abbildung 25 sind die Mean drops der Ausprägungen von den Texturattributen in Abhängigkeit zu ihren prozentualen Nennungen dargestellt. Die graphisch dargestellten Mean drops veranschaulichen die Punktabzüge in der Gesamtbeliebtheit des Mundgefühls bzw. der Textur.

Die Texturbeliebtheit sank am stärksten, wenn die knackige Produkthülle zu schwach ausgeprägt war. Dieser Mean drop von 2,1 ist jedoch nicht signifikant. Auch eine nicht optimale Weichheit führte zu nicht signifikanten Mean drops. Auffallend ist, dass ein zu weiches Produktinnere, mit einem negativen Mean drop von - 0,7 Punkten, sich positiv auf die Gesamtbeliebtheit der Textur auswirkte. Eine zu starke Mehligkeit zeigte sich in Beliebtheitsabzügen von 0,3 Punkten. Jedoch konnte ebenfalls keine Signifikanz ($p > 0,050$) nachgewiesen werden.

Aufgrund der nicht vorhandenen Signifikanzen in den Mean drops der Texturattribute kann keine Aussage zu einer Produktoptimierung getroffen werden.

5.2.4.2 Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Tempeh-Gebratenen

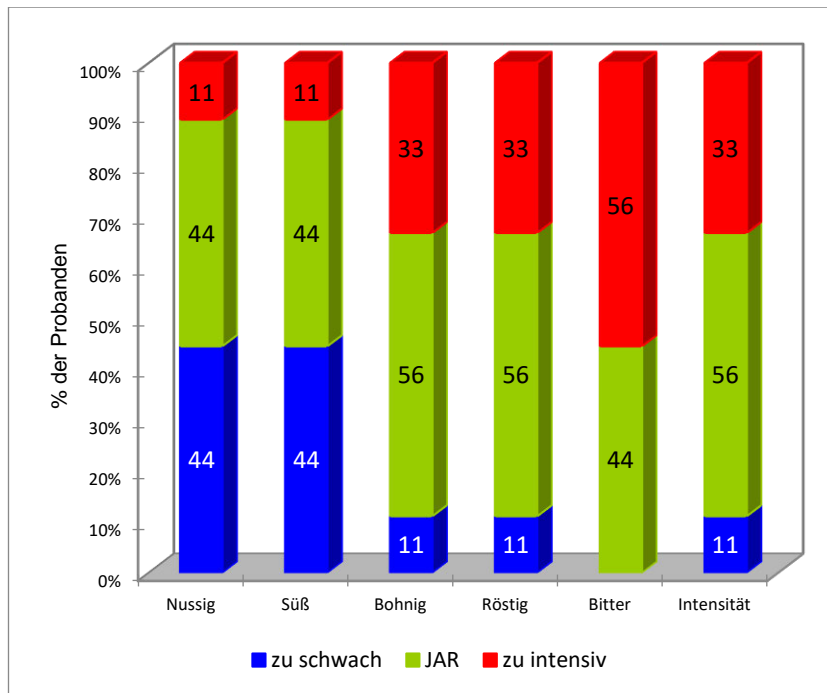


Abb. 26 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Gebratenen im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Die Abbildung 26 veranschaulicht die JAR-Bewertungen von dem gebratenem Tempeh. Ersichtlich ist, dass die Geschmacksattribute von etwa der Hälfte der Probanden als genau richtig beurteilt wurden. Mit der Geschmacksintensität sowie dem bohningen und röstigen Geschmack waren 56 % zufrieden. Lediglich 11 % waren die Intensitäten der drei Produkteigenschaften zu schwach und 33 % zu stark. Die Intensität der Bitterkeit empfanden leicht weniger als die Hälfte der Verkoster als genau richtig. Die mit 56 % knappe Mehrheit der Prüfpersonen nahmen den bitteren Geschmack als zu intensiv wahr. Dagegen ordneten nur 11 % die Attribute süß und nussig in den Bereich „zu intensiv“ ein. Uneinigkeit bestand in der zu schwachen und optimalen Attributausprägung mit je 44 %.

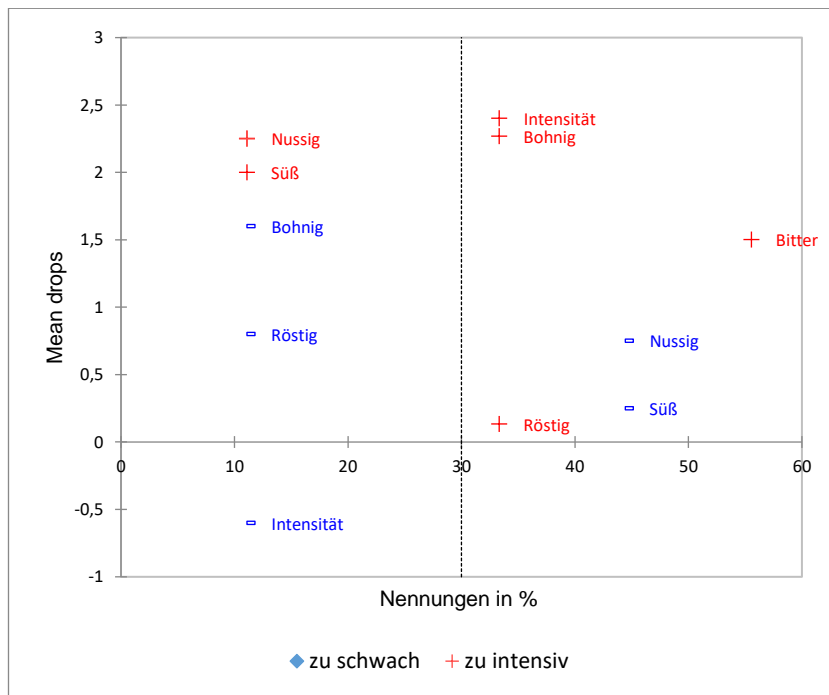


Abb. 27 Mean drops der Geschmacksattribute von Tempeh-Gebraten

Die Mean drops in Abbildung 27 bewirkten bei dem Tempeh-Gebraten in allen Geschmacksattributen keine signifikanten Effekte. Zudem waren sie niedriger als bei dem puren Produkt. Mit dem höchsten Mean drop von 2,4 Punkten wurden die meisten Punkte in der Beliebtheit bei einer zu stark ausgeprägten Geschmacksintensität abgezogen. Ebenso führte ein zu intensiver bohniger und bitterer Geschmack zu einem hohen Abzug von 2,3 bzw. 1,5 Punkten. Die geringsten Punktabzüge wurden bei einer zu schwachen nussigen und süßen Ausprägung sowie einer zu starken Röstnote beobachtet.

Die übrigen dargestellten Attribute wurden von etwa 12 % der Probanden benannt und befinden sich damit unter der gesetzten 30 %-Schwelle.

Für eine Produktoptimierung lässt sich durch die nicht vorhandenen Signifikanzen keine Aussage treffen.

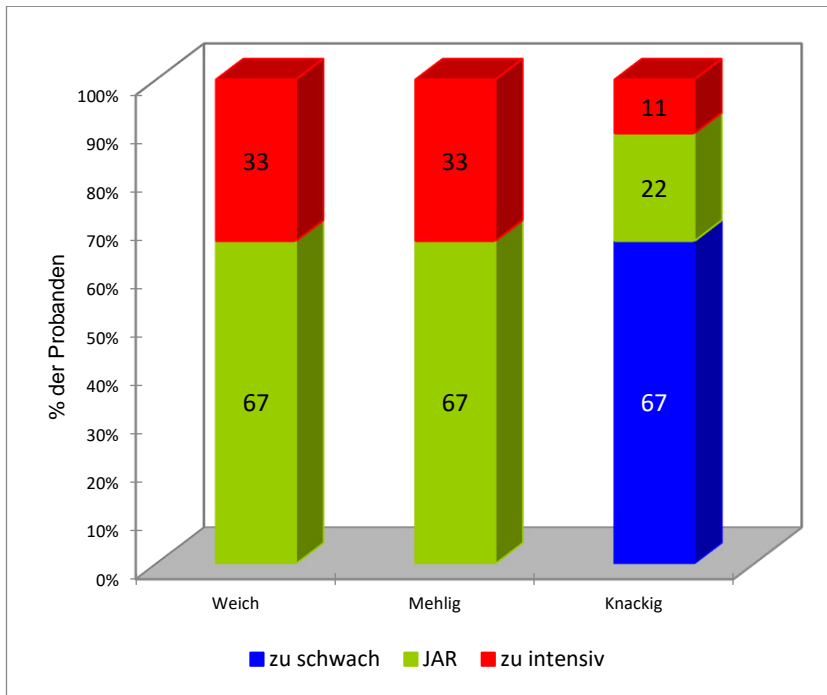


Abb. 28 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Tempeh-Gebraten im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

In Abbildung 28 zeigt Tempeh-Gebraten in weich und mehlig mit 67 % hohe Prozentwerte in der optimalen Ausprägung auf. Ein Drittel empfanden diese Eigenschaften hingegen als zu stark ausgeprägt. Als zu wenig knackig nahmen 67 % der Prüfpersonen das Produktäußere wahr. Lediglich 22 % waren mit dieser Attributausprägung zufrieden. Dem geringsten Prozentsatz (11 %) war die Knackigkeit zu stark ausgeprägt.

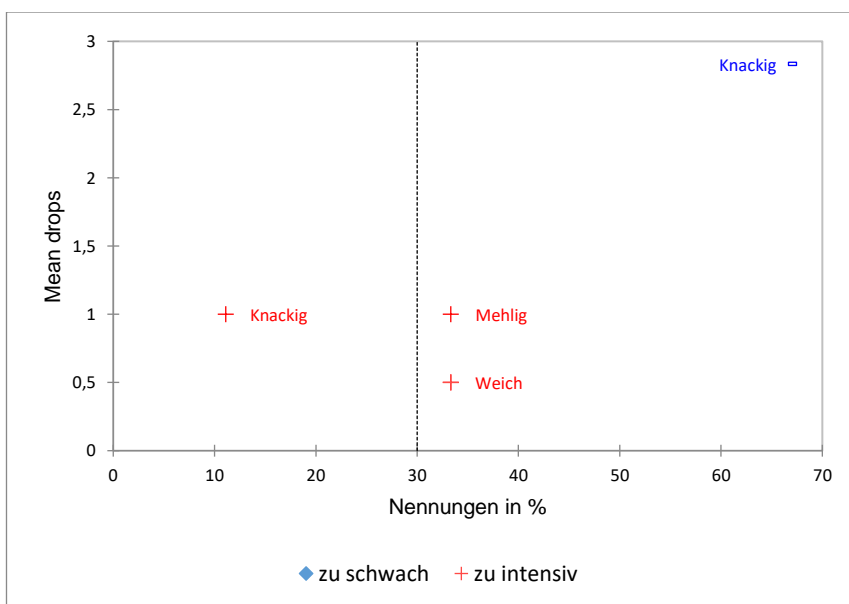


Abb. 29 Mean drops der Texturattribute von Tempeh-Gebraten

Entsprechend den Mean drops in Abbildung 29 sank die Gesamtbeliebtheit des Mundgefühls um 2,8 Punkte bei einer zu schwachen knackigen Produkthülle. Dabei bestand mit $p = 0,084$ jedoch keine Signifikanz. Die zu starke Ausprägung von mehlig und weich führten ebenfalls zu Beliebtheitsminderungen, waren jedoch nicht signifikant. Da lediglich 11 % für zu knackig abstimmten, konnte hier keine Signifikanz berechnet werden.

Wie bei den Geschmacksattributen können keine eindeutigen Optimierungsmaßnahmen zur Beliebtheitssteigerung getätigt werden.

5.2.4.3 Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Natto-Pur

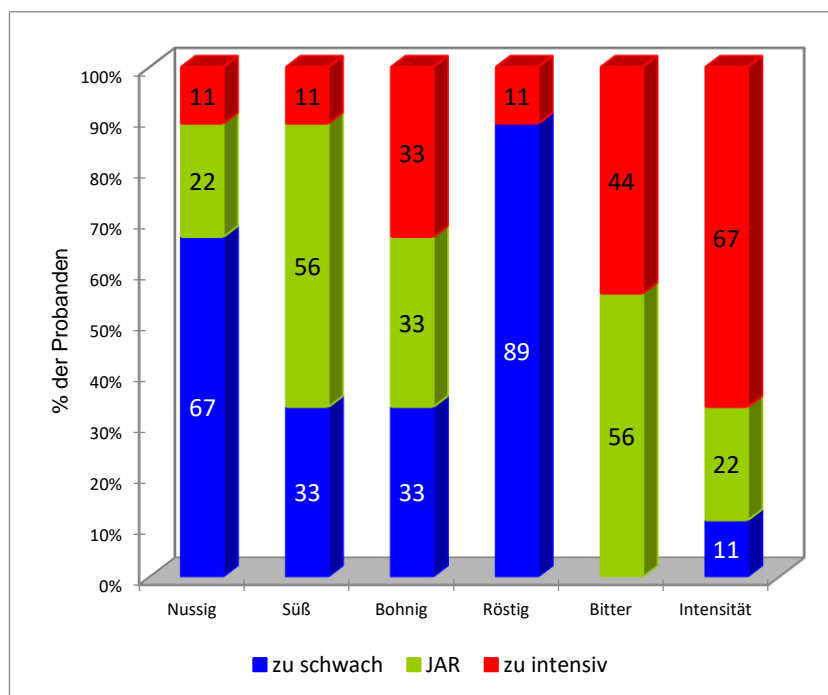


Abb. 30 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Aus der Abbildung 30 sind die prozentuellen Bewertungen in den einzelnen Attributen von Natto-Pur zu entnehmen. Es ist ersichtlich, dass die Mehrheit der Verkoster mit fast allen Attributausprägungen nicht zufrieden waren. Insbesondere der röstige Geschmack wurde von 89 % der Probanden als zu schwach eingestuft. Auch die Nussigkeit wurde von 67 % als zu gering empfunden. Die Geschmacksintensität nahmen dagegen mehr als die Hälfte der Prüfpersonen (67 %) als zu intensiv wahr. Für knapp über die Hälfte der

Prüfpersonen waren die süßen und bitteren Noten genau richtig. Der bohnlige Geschmack wurde lediglich von einem Drittel als optimal empfunden. Für die übrigen 66 % war der Bohnengeschmack zu stark bzw. zu schwach.

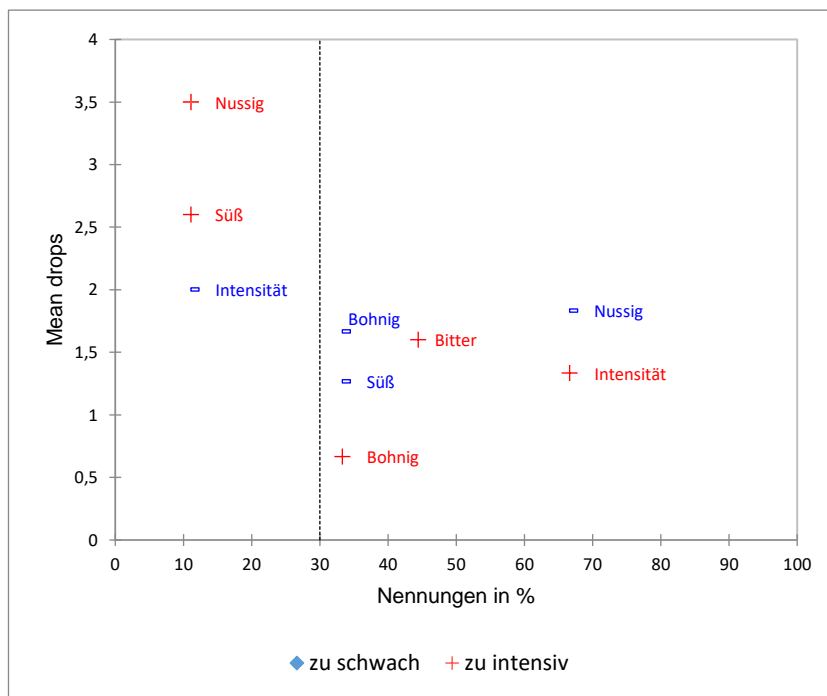


Abb. 31 Mean drops der Geschmacksattribute von Natto-Pur

Anhand der Abbildung 31 kann ausgesagt werden, dass das Produkt bei einer zu geringen Nussigkeit mit einem Mean drop von 1,9 die meisten Punkten in der Gesamtbeliebtheit verlor. Ebenfalls führten eine zu hohe Bitterkeit und Gesamtgeschmacksintensität zu einer Abwertung von etwa 1,5 Punkten. Hinsichtlich des Bohnengeschmacks führte eine zu starke, aber auch eine zu schwache bohnlige Note zu Beliebtheitsminderungen. Jedoch wurde bei keinem Attribut eine Signifikanz erreicht. Die Nennungen der Attribute nussig, Intensität und süß ordnen sich unterhalb der 30 %-Schwelle ein und sind somit nicht relevant.

Im Hinblick auf die Produktoptimierung ist, aufgrund der fehlenden Signifikanzen der Mean drops, keine klare Aussage zu treffen.

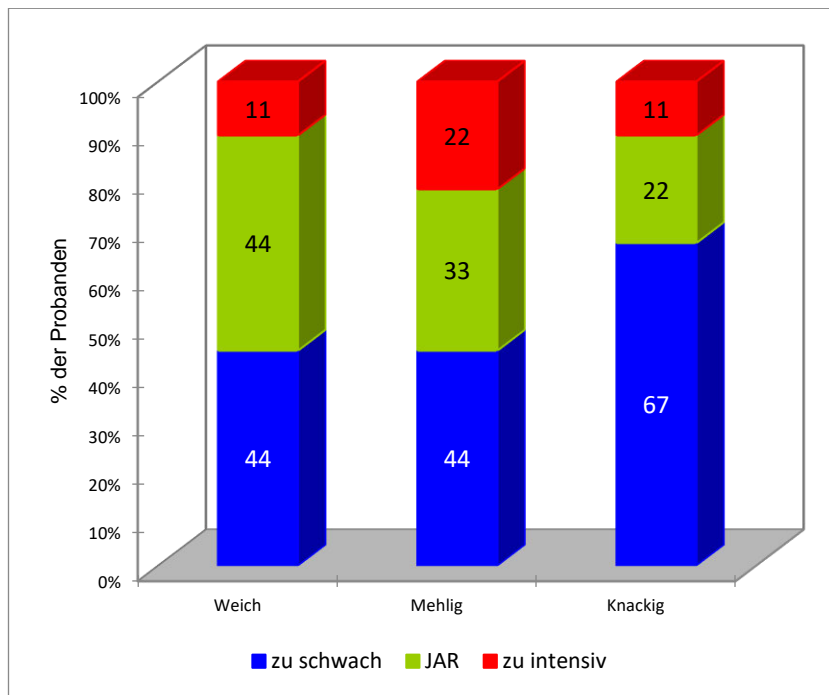


Abb. 32 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Pur im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Die prozentualen Beurteilungen der Texturattribute in den zusammengefassten JAR-Kategorien werden in Abbildung 32 veranschaulicht. Auffallend ist, dass Natto pur in allen drei Attributen hohe Werte im „zu schwach“-Bereich aufweist. So waren 44 % der Prüfpersonen bei weich und mehlig und mehr als die Hälfte der Prüfpersonen bei knackig der Ansicht, dass die Attributintensitäten stärker ausgeprägt sein sollten. Bei allen Attributen kann der geringste Prozentteil im „zu intensiv“-Bereich beobachtet werden. Die Weichheit im Produktinnere wurde von fast der Hälfte als optimal angesehen, bei den beiden anderen Produkteigenschaften waren etwa ein Drittel der Probanden dieser Auffassung.

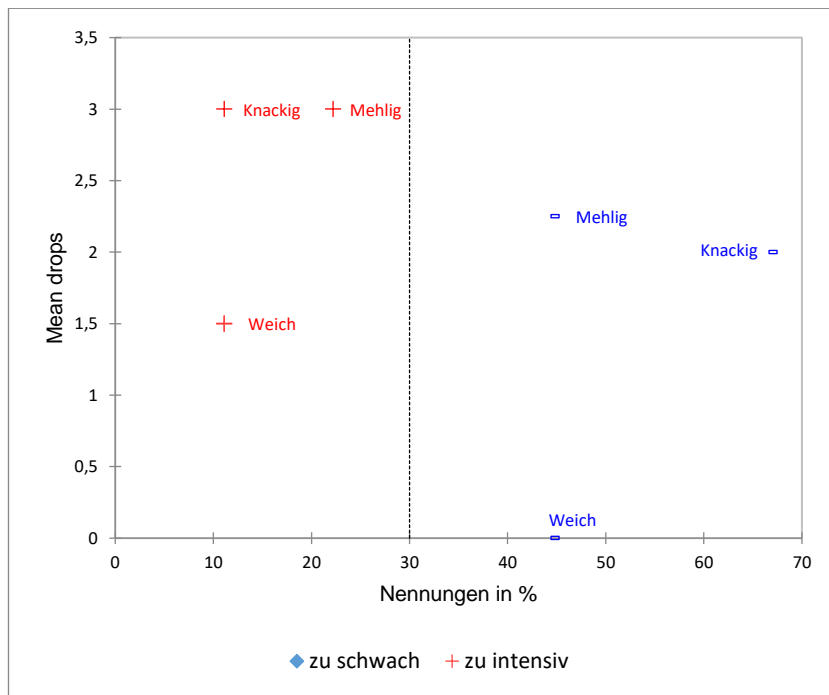


Abb. 33 Mean drops der Texturattribute von Natto-Pur

Anhand der Mean drops in Abb. 33 lässt sich erkennen, dass es bei einer zu geringen Ausprägung in der Mehligkeit und in der Knackigkeit Abzüge um etwa 2 Punkte in der Beliebtheit gegeben hat. Ein zu hartes Produktinneres hatte mit einem Mean drop von 0 keinen Einfluss auf die Beliebtheit.

Zu beachten ist aber, dass bei allen Attributen keine Signifikanz vorliegt. Somit kann wie bei den Geschmacksattributen keine Aussage zu einer Produktoptimierung mitgeteilt werden. Im Hinblick dazu sind auch die entgegengesetzten Nennungen einer zu starken Attributausprägung nicht relevant, da diese nicht die 30 %-Schwelle erreicht haben.

5.2.4.4 Attributbewertungen und Optimierungsbedarf von Natto-Geröstet

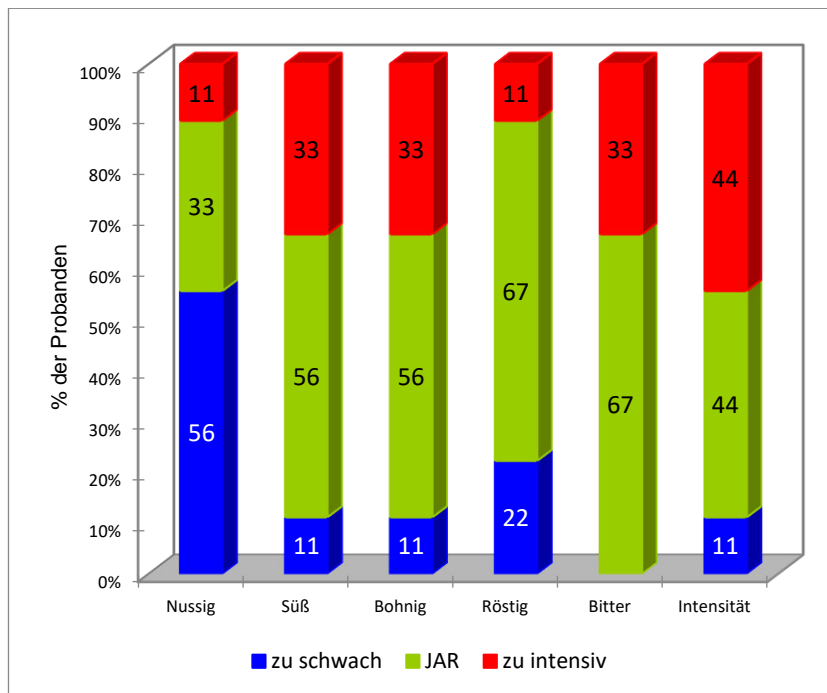


Abb. 34 Prozentuale Geschmacks-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Geröstet im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Der Natto-Geröstet zeigt in Abbildung 34 eine bessere Bewertung als der pure Standard. Die leichte Mehrheit der Probanden stufte die Attribute „süß“ und „bohlig“ mit je 56 % sowie „röstig“ und „bitter“ mit je 67 % als genau richtig ein. Ein Drittel bewertete die Attribute als zu intensiv. Auffallend sind in allen Produkteigenschaften – ausgenommen das Attribut nussig - die sehr niedrigen Prozentwerte bei der Kategorie zu schwach. In der Nussigkeit waren mehr als die Hälfte der Meinung, dass diese zu stark ausgeprägt ist. In der Gesamt-Intensität empfunden 55 % als nicht optimal ein, wovon der überwiegende Teil mit 44 % die Produkteigenschaft als zu intensiv kategorisierte.

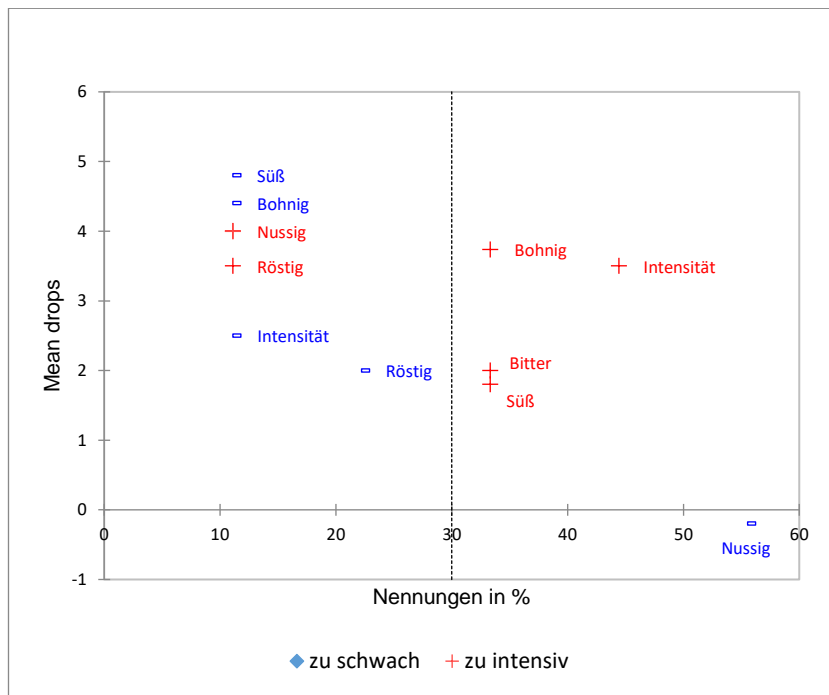


Abb. 35 Mean drops der Geschmacksattribute von Natto-Geröstet

Auffällig in der Abb. 35 ist, dass die Mean drops deutlich höher sind als bei der reinen Variante. Durch die signifikanten Mean drops von einer zu intensiven Bohnigkeit ($p = 0,002$) und zu starken Intensität ($p = 0,020$) folgten große Punktabzügen von 3,7 bzw. 3,5 Punkten in der Gesamtbeliebtheit des Geschmacks. Auch süß und bitter wurden als zu stark wahrgenommen und wiesen relativ hohe, aber nicht signifikante Mean drops bei etwa 2 auf. Auffallend ist der negative Mean drop bei einer zu schwachen Nussigkeit, welcher eine nicht signifikante Beliebtheitssteigerung um 0,1 Punkte des Gesamtgeschmacks verdeutlicht.

Für eine weiterführende Produktoptimierung sollten die signifikanten Ausprägungen von der Intensität und Bohnigkeit priorisiert und abgeschwächt werden.

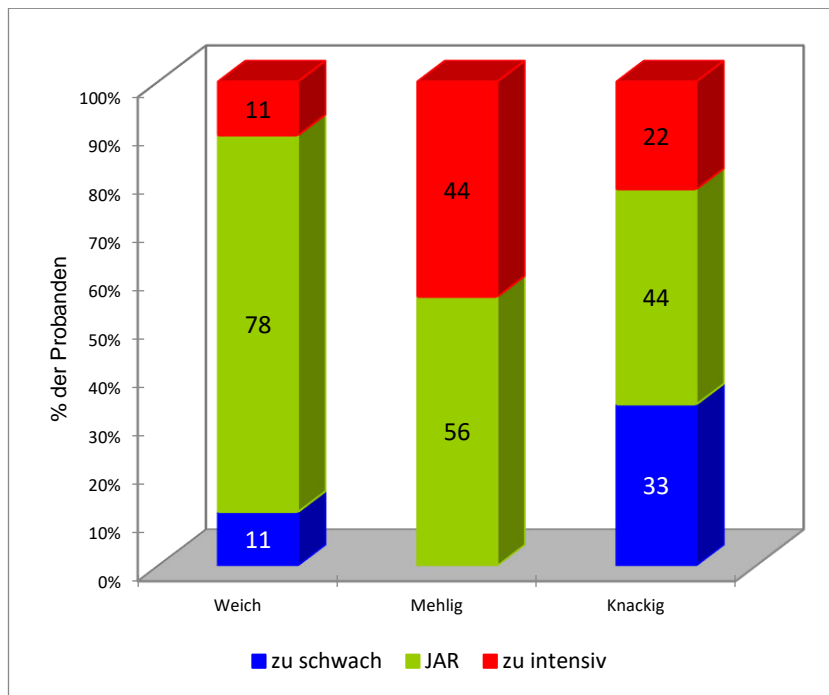


Abb. 36 Prozentuale Textur-Bewertungen der zusammengefassten JAR-Kategorien von Natto-Geröstet im Rahmen der Hauptversuche, (n = 9).

Die Weichheit bei Natto-Geröstet wurde von den meisten Prüfpersonen (78 %) als optimal eingestuft (s. Abb. 36). Nur jeweils 22 % wollten ein härteres bzw. weicheres Innere haben. Mit der Mehligkeit waren 56 % der Prüfpersonen zu frieden. Dahingegen war das Innere 44 % zu mehlig. Ebenfalls in der letzten Textureigenschaft „knackig“ wurde die Ausprägung von der Mehrheit (44 %) als optimal empfunden. Ein Drittel war die äußere Hülle nicht knackig genug und einem Viertel wiederum zu knackig.

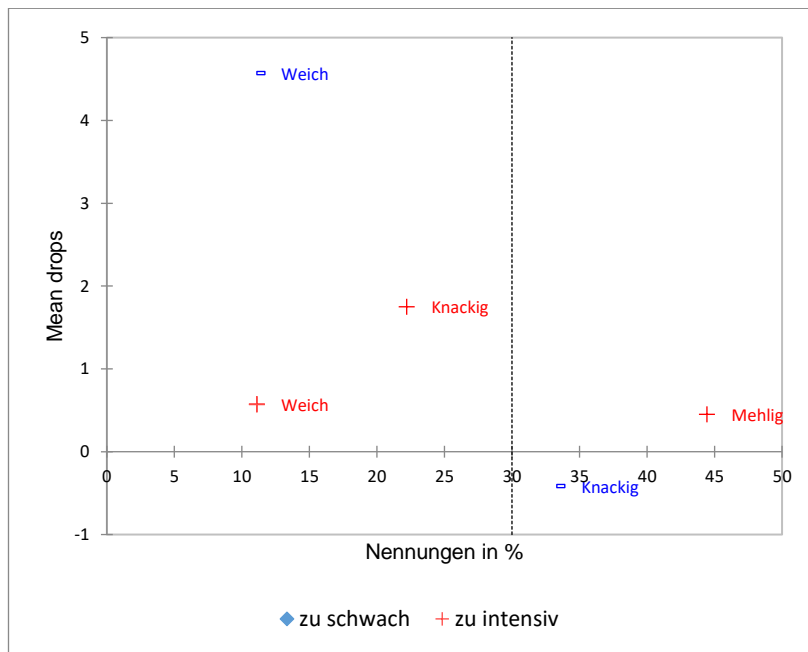


Abb. 37 Mean drops der Texturattribute von Natto-Geröstet

Die Mean drops in Abb. 37 zeigen, dass eine zu starke Ausprägung der Mehligkeit zu sehr geringe, nicht signifikanten Beliebtheitsabzüge von 0,5 Punkten in der Gesamtbeliebtheit der Textur führten. Eine nicht optimale Knackigkeit in Form einer zu schwachen Ausprägung führte zu einer leichten, aber nicht signifikanten Beliebtheitssteigerung von 0,4 Punkten.

Aufgrund fehlender Signifikanzen kann keine Aussage für die Produktoptimierung hinsichtlich der Textur gegeben werden.

6. Diskussion

6.1 Voruntersuchungen

Die Auswertungen der Vorversuche zeigen, dass Prozessanpassungen und Weiterverarbeitungen einige signifikante, sensorische Verbesserungen bewirkt konnten. Dadurch sind zum Teil Prototypen mit den typischen Produktmerkmalen von den traditionellen Fermentationsprodukten entstanden.

In den ersten Tempeh-Versuchen 1, 2, und 3a wurde ein leicht pilziger Geruch wahrgenommen, der laut Jeleń et al. (2013) durch die erhöhten 1-Octen-3-on-Konzentrationen zu Stande kommt. Der Geschmack wurde in diesen Versuchen als leicht bitterer und pilziger beschrieben. Im gebratenen Tempeh (Versuch 3b) konnten diese Geschmacksnoten laut Prüfpersonen nicht mehr wahrgenommen werden. Dies könnte durch eine Maskierung dieser Attribute infolge des Bratprozesses und dem Salzen erklärbar sein (Meier 2002).

Der in Versuch 1 und 2 beobachtete weiß-krümelige Bodensatz bestand vermutlich aus dem in der Starterkultur zugesetzten Reismehl, welches sich durch die herunterlaufende Suspension am Boden sammelte. Bestätigt wird die Vermutung durch die Beimpfung mit trockenen Sporen in Versuch 3, da zum Fermentationsende keine Ablagerung an dem kompakten Produktblock sichtbar war. Dieser Prototyp zeigte nach Fermentationsende die nach Kreuz (2023) typische schnittfeste Blockform mit dem pilzigen und nussigen Geschmack auf. Der nussige Geschmack konnte jedoch erst später durch das Sensorikerpanel bestätigt werden und nicht direkt durch die Prüfpersonen.

Bei den Natto-Versuchen konnte ein homogenes Geschmacksprofil erzielt werden, das vermutlich durch das Schütteln der Probe während der Fermentation erreicht wurde. Die dadurch gleichmäßigere Verteilung von Bakterien und Enzymen in der gesamten Probe sowie die erneute Sauerstoffbereitstellung für die aerobe Bakterienkultur unterstützen einen homogenen Fermentationsprozess (Errington und van der Aart 2020; Henzler und Schedel 1991).

Im Versuch 3a wurde der verbrannte Nachgeschmack bei dem gerösteten Natto bemängelt. Dieser könnte eventuell durch Reduzierung der Rösttemperatur, wie bei Studien mit Kakaobohnen und Nüssen beobachtet, abgemildert werden (Aruwajoye et al. 2023; Rocha et al. 2017).

Die erzielten Natto-Prototypen in Versuch 1 und 2 zeigten die charakteristischen Sensorikmerkmale von Natto aus Sojabohnen auf. Die nach Rocchi et al. (2024) typische schleimig-klebrige Produktoberfläche wurde von den Prüfpersonen bestätigt. Dagegen konnten die laut Elhalis et al. (2023) typischen Geschmacksattribute bitter, umami und süß erst in der Attributgenerierung des Sensorikerpanels nachgewiesen werden.

Im Koji-Versuch mit *Aspergillus awamori* wurde in Versuch 1 eine Sporenbildung beobachtet. Grund dafür könnten auch hier ungünstige Milieubedingungen wie ein Nährstoffdefizit gewesen sein (Fritsche 2002). Durch Reduzierung von Fermentationszeit und -temperatur konnten in Versuch 2 vermutlich optimalere Prozessbedingungen geschaffen werden, da eine Sporenbildung ausblieb. Auch das homogenere Geschmacksprofil ist wahrscheinlich wie beim Natto durch das Schütteln erklärbar. Die Verunreinigung der Starterkultur, wie in der Kultivierung festgestellt wurde, kann das Geschmacksprofil beeinflusst haben. Kracker- und sprossenähnliche Geschmäcker oder erdigen und pilzigen Aromen, wie sie bei Sojabohnen-Koji und Ackerbohnen-Koji benannt wurden, konnten nicht wahrgenommen werden. Der Koji-Prototyp mit *Aspergillus oryzae* zeigte jedoch erdige und pilzige Geschmacksattribute wie der Ackerbohnen-Koji auf.

Generell lassen sich die erzielten Produktoptimierungen nicht zwingend nur auf die genannten Anpassungsmaßnahmen zurückführen, da in den Versuchen mehrere Anpassungen durchgeführt wurden.

Die signifikanten Beliebtheitsunterschiede in der Gesamtakzeptanz zwischen den zwei am höchsten bewerteten Prototypen (Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet) und den Koji-Prototypen ermöglichten eine eindeutige Prototypauswahl für die Hauptuntersuchung. Auch in den übrigen Bewertungskategorien wurden Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet im Gefallen-Bereich benotet. Das gesetzte Ziel, einen sensorisch akzeptablen Prototyp (alle hedonischen Mittelwerte der Kategorien liegen im Gefallen-Bereich) herzustellen, wurde erreicht. Dennoch sind die erhobenen Beliebtheitsdaten nur begrenzt repräsentativ. Es gab nur eine sehr geringe Probandenzahl an internen Mitarbeitern und die Proben wurden an unterschiedlichen Tagen beurteilt, ohne jeweils den vorherigen Versuchsprototypen zum direkten Vergleich. Aufgrund von kulturellen Essgewohnheiten hätte es bei der Befragung der Konsumenten, hier der afrikanischen Bevölkerung, andere Bewertungen gegeben (Meier 2002). Das bedeutet die ausgeschlossenen *Aspergillus*-Stämme sind nicht zwangsläufig ungeeignet und auch andere Anpassungen des Fermentations- oder Verarbeitungsprozesses hätten zu anderen Beliebtheitswerten führen können. Gleiches gilt auch für die anderen beiden Starterkulturen. Insgesamt war dies

jedoch eine einfache Möglichkeit, um erste Starterkulturen und Prototypen ohne hohe Kosten und Zeitaufwand intern im Rahmen einer Produktentwicklung ausschließen zu können.

6.2 Hauptuntersuchungen

Die hedonische Hauptuntersuchung wurde ebenfalls mit einer sehr geringen Anzahl interner, fachbezogener Mitarbeiter durchgeführt, die zum Teil bereits die Prototypen kannten und dadurch nicht unvoreingenommen waren. Um repräsentative Ergebnisse für die Produktakzeptanz zu erzielen, wäre ein Konsumentenpanel von mind. 60 Personen nötig gewesen (Bongartz 2013). Durch die eingeschränkten finanziellen Mittel sowie die limitierte Rohstoffmenge konnte dies aber nicht durchgeführt werden. Zu berücksichtigen ist, dass in dieser Arbeit zunächst nur erste Prototypen entwickelt wurden, die von der Markteinführung noch weit entfernt sind. Es ist ausreichend einen Akzeptanztest durch die Verbraucher in den kommenden Entwicklungsprozessen und noch vor der Markteinführung auszuführen (Wallner und Gruber 2017). Damit genügen die gewonnenen Erkenntnisse, um eine weitere Produktentwicklung bezogen auf die sensorische Optimierung durchzuführen.

Im Hinblick auf die sensorische Bewertung der Produkte, war die Inhomogenität sowohl im Geschmack als auch in der Textur ein großes Problem. Dies erschwerte die hedonischen Bewertungen bei den Mitarbeitern. Damit einhergehend wären die größeren Bewertungsunterschiede in der Beliebtheit begründbar. Da laut Prüfpersonen ebenso die gekochten Bohnen stark unterschiedlich in der Härte, Farbe, Mehligkeit und Größe waren, kann die generelle Inhomogenität des Rohstoffes ursächlich für die der Prototypen sein. Eine Lösung kann eine optische Vorsortierung der Bohnen nach Farbe (lässt u.a. auf Reifegrad schließen), Größe und Form mittelsameratechnik sein (Pawelec 2025).

Bei der Betrachtung der Gesamtbeliebtheit im Geschmack sowie in der Textur wurde ein geringer Konsens und damit stark voneinander abweichende Bewertungen verzeichnet. Insbesondere im Hinblick auf die Fermentationsprodukte. Resultieren könnte dies aufgrund von systematischen

Unterschieden wie unterschiedlichen Bewertungsstandards, beispielsweise weil einige Prüfpersonen insgesamt kritischer sind als andere. Dies ist somit nicht zwangsläufig auf tatsächliche Unterschiede der Produkte zurückzuführen. Aufgrund dessen war die anschließende Zentrierung der Mittelwerte für eine bessere Vergleichbarkeit sinnvoll. Die zentrierten Mittelwerte konnten das Gefallen bzw. Missfallen der Produkte und die Beliebtheitsrangfolge der Produkte auch relativ untermauern. Dadurch konnte klar gesagt werden, dass die puren fermentierten Produkte gegenüber den weiterbehandelten viel unbeliebter sind. Die Studien von Syukri et al. (2022) und Refaat et al. (2018) bestätigen diese Erkenntnisse. Gebratener oder frittierte Tempeh zeigte signifikant höhere sensorische Beliebtheit u.a. im Geschmack und in der Textur auf als der pure, nur gedämpfte bzw. gekochte Tempeh.

Unterstützend für diese Erkenntnisse wirken die ermittelten Penalty-Daten. Die puren Fermentationsprodukte weisen in den Attributen viele Nennungen im nicht optimalen Bereich auf. Dahingegen sind bei den weiterverarbeiteten Fermentationsprodukten meist etwa die Mehrheit der Probanden mit den Attributen zufrieden. Anpassungsbedarf wurde bei allen Prototypen besonders in den Attributen nussig und knackig sowie nur bei den puren Prototypen im röstigen Geschmack hinsichtlich einer Attributverstärkung aufgezeigt, obwohl die deskriptive Untersuchung diesbezüglich schon Intensitätssteigerungen gegenüber den gekochten Bohnen aufzeigen konnte. In der Bitterkeit wurde eine nicht optimale Bewertung nur in der „zu intensiv“-Kategorie getroffen und zeigte, dass sich viele Prüfpersonen eine Abschwächung dieser Eigenschaft wünschen. Eine Erklärung dafür kann die angeborene Aversion des Bittergeschmacks sein (Meier 2002).

Anhand der signifikanten Mean drops konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich der Attributanpassung zur Produktoptimierung von Tempeh-Pur und Natto-Geröstet getroffen werden. Bei Tempeh-Gebraten und Natto-Pur wäre eine Attributanpassung anhand der Mean drops mit „Richtung in Signifikanz“ zu überlegen. Dies würde die Berücksichtigung der Mean drops einer zu starken Intensität ($p = 0,085$) und einer zu geringen knackigen Hülle ($p = 0,084$) bei Tempeh-Pur und einer zu geringen Mehligkeit ($p = 0,071$) bei Natto-Pur bedeuten. Die Effekte müssten aber in einem Verbraucherpanel erneut überprüft

werden, da Attributanpassungen andere Attributempfindungen verändern können (Gere et al. 2017).

In der Erhebung der deskriptiven Daten durch das trainierte Sensorikpanel zeigte sich eine sehr gute Panelperformance in der Diskriminierung der Produktattribute. Nur bei dem gestrichenen Attribut erdig wurden Panellist*Produkt-Interaktionen in der ANOVA beobachtet, welche auf Uneinigkeiten im Sensorikpanel deuten. Eine präzisere Definition des Attributes und weiteres Training könnte die Panelperformance verbessern (Meier et al. 2020; Bongartz und Pfeiffer 2010). Es sollte jedoch geklärt werden, welche Relevanz dieses Attribut zur Diskriminierung der Produktprofile hat. In diesem Fall reichten die Erkenntnisse der anderen Attribute aus, um Unterschiede zum Rohstoff zu identifizieren und die nächsten Schritte in der Produktentwicklung ausführen zu können.

Hinsichtlich der Attributauswahl ist festzuhalten, dass diese nicht alle fünf Produkte optimal diskriminiert haben. Aufgrund der Probenmenge und des gegenseitigen Vergleichs musste sich nach der Attributgenerierung auf allgemeine Attribute geeinigt werden, die jedoch geeignet sind, um alle Produkte zu diskriminieren. Natto-Pur wurde in der Attributgenerierung von den Panellisten, aber auch durch die Mitarbeiter in den Vorversuchen, bezüglich der Textur hauptsächlich als sehr klebrig, schleimig und fadenziehend beschrieben. Jedoch gab es keine Nennungen dieser Eigenschaften bei den anderen Produkten, sodass keine Aufnahme in die Hauptuntersuchung erfolgte. Ähnlich bei beiden Tempeh-Produkten, die vermehrte Geschmacksnennungen von fleischig und pilzig aufwiesen. Besser wäre somit bei weiteren Untersuchungen eine separate Attributfindung.

Die quantitativen Intensitätsbewertungen zeigen, dass durch Fermentation sowie das Anrösten bzw. Braten der Geschmack und die Textur von dem Rohstoff hinsichtlich der untersuchten Produkteigenschaften beeinflusst wurden. In fast allen Geschmacks-Attributen ist die Intensität durch die Verarbeitungsprozesse gestiegen. Dagegen konnte der bei Konsumenten unbeliebte Bohnengeschmack, wie in dem Artikel von Cichonska et al. (2024) beschrieben, mittels Fermentation abgeschwächt werden. Auch die Studie von Chin et al. (2025) kann diese Geschmacksabschwächung bestätigen. Sie konnte bei

fermentierten Sojabohnen eine Minimierung von Substanzen wie Hexanal, die bohnlige Aromen hervorrufen, nachweisen. Eine Abnahme von Saccharose, Fruktose und Glukose, die als Energiequellen für die Fermentationskulturen dienen, wurde ebenfalls in der Studie beobachtet und könnte in dieser Arbeit die verringerte Intensität der Süße erklären. Eine Intensivierung röstiger und nussiger Noten, wie von Kłosowski et al. (2021) und Jeleń et al. (2013) beschriebene, konnte aufgezeigt werden.

Zusammenfassend konnte ein erster Eindruck über die Beliebtheit der entwickelten Prototypen und erste Optimierungsmöglichkeiten geschaffen werden. In einer weiterführenden Produktentwicklung können diese überarbeitet und erneut sensorisch auf die Akzeptanz analysiert werden. Hierbei wären für jedes Produkt eine individuelle Attributauswahl wie auch ein Konsumententest sinnvoll, um vor Markteinführung erneute Verbesserungen durchführen zu können. Zudem wurden die Prototypen nur in kleinen Mengen im Labor ohne exakte Prozesskontrollen hergestellt. In den nächsten Schritten müsste dies in industriellen Maßstäben getestet und optimiert werden.

6.2 Vorausblick

Die Unbeliebtheit der puren Fermentationsprodukte zeigt, dass eine Weiterbehandlung der Produkte die Produktbeliebtheit stark beeinflussen kann. Aufgrund dessen, wäre auch das Austesten von anderen Verarbeitungsprozessen nach Fermentationsende denkbar.

Mit Blick auf die Weiterentwicklung sind Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet erfolgsversprechend.

Der angebratenen Tempeh scheint nicht nur durch die hohen Beliebtheits-Benotungen in dieser Arbeit vielversprechend zu sein, sondern wird ebenfalls durch weitere Studien bestärkt. So wurde gesalzener, frittierter Tempeh aus anderen Feldfrüchten sowie eine Tempeh-Kombinationen aus Bambara-Erdnüssen von Afrikanern sensorisch akzeptiert (Ahnán-Winarno et al. 2021). Aufgrund des, von einigen Prüfpersonen angemerkten, fleischigen Geschmacks sowie des mit 6,7 Intensitätspunkten röstigen Geschmacks und der laut Ahnán-Winarno et al. (2021) fleischähnlichen Textur, könnte das Produkt als Alternative

für gebratenes Fleisch eingesetzt werden. Auch die sehr geringe Süßkraft von 3,4 Intensitätspunkten bestätigt, dass es zu den herzhaften Lebensmittel eingeordnet werden kann.

Auch der geröstete Natto zeigt durch die ermittelten Beliebtheitsdaten Potenzial in einer erfolgreichen Weiterentwicklung. Dieses Produkt könnte laut Prüfpersonen als Snack, ähnlich wie geröstete Kichererbsen, oder als Topping/Croutons-Ersatz für Salate oder Suppen Verwendung finden. Auch die Intensitätsmessungen einer intensiven röstigen, nussigen und bohigen Geschmacksausprägung sowie einer knackigen Hülle untermauern diese Möglichkeiten. Da geröstete Leguminosen bereits in Afrika konsumiert werden (Duodu und Apea-Bah 2017), ist bei den gerösteten Natto-Bohnen auch eine Akzeptanz denkbar.

7. Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit sollten erste sensorisch akzeptable Prototypen von Tempeh, Koji und Natto durch Feststofffermentationen mit ausgewählten Starterkulturen entwickelt und auf ihre sensorischen Unterschiede zu dem ursprünglichen Rohstoff, den gekochten Bambara-Erdnüssen, untersucht werden. Daneben bestand das Ziel darin, Optimierungsbedarf in ausgewählten Attributen herauszuarbeiten. Der Fokus der Analysen lag dabei auf dem Geschmack und der Textur.

Die Bewertungen der Vorversuche wurden mittels hedonischer 9er-Skala von internen Mitarbeitern des ttz-Bremerhavens durchgeführt. Anhand der negativ kritisierten Faktoren, wurden Optimierungsversuche unternommen. Einige Prozessänderungen konnten dabei signifikante, sensorische Verbesserungen erzielen. Insbesondere Temperatur- und Zeitanpassungen sowie Bratprozesse zeigten signifikante Effekte.

Eine Aussage zur Eignung der verwendeten Starterkulturen konnte durch die Bewertungen getroffen werden. Demnach waren die Natto- und Tempeh-Vorversuche mit *Bacillus subtilis* var. *natto* und mit *Rhizopus oligosporus* in der Gesamtakzeptanz am beliebtesten unter den Prüfpersonen und konnten in allen sensorischen Kategorien Bewertungen im Gefallen-Bereich (> 5,0 Punkte)

erzielen. Die Koji-Prototypen beider *Aspergillus*-Stämme waren dagegen in den sensorischen Kategorien unbeliebt (< 5,0 Punkte) und wurden in der Hauptuntersuchung nicht betrachtet. Damit wurde das Ziel der Herstellung von sensorisch akzeptablen Prototypen nur bei den Koji-Prototypen nicht erreicht. Eventuell hätten andere Prozessveränderungen und nachfolgende Verarbeitungsprozesse zu einer höheren Beliebtheitsgraden führen können.

Die Hauptuntersuchungen wurden mit den Prototypen des Tempeh-Vorversuchs 3 in gebratener Form (Tempeh-Gebraten) und in gekochter Form (Tempeh-Pur) sowie mit den Prototypen des Natto-Vorversuchs 3a (Natto-Geröstet) und ungeröstet (Natto-Pur) durchgeführt. Es fanden deskriptive, quantitative Intensitätsbewertungen mit einem geschulten, externen Sensorikerpanel und hedonische, subjektive Intensitätsbewertungen mit internen Mitarbeitern statt. Durch die unterschiedlichen Behandlungen der Bambara-Erdnüsse resultierten in der deskriptiven Hauptuntersuchung zwischen dem Rohstoff und den Fermentationsprodukten – mit Ausnahme von nussig bei Tempeh-Pur - signifikante sensorische Intensitätsunterschiede. Es wurde gezeigt, dass sich das sensorische Profil der Bambara-Erdnüsse in der Textur sowie im Geschmack durch die Fermentationsprozesse und nachfolgende Verarbeitungsschritte signifikant verändert hat. Es resultierten vorrangig in den Geschmacks-Attributen, auch im unbeliebten Bittergeschmack, Intensitätssteigerungen bei den fermentierten Produkten. Jedoch wurde der unbeliebte Bohnengeschmack abgemildert. Die Intensitätsveränderungen in röstig, bitter und bohlig konnten auch in anderen Studien bei Fermentationsprodukten nachgewiesen werden.

Wichtige Erkenntnisse konnten auch aus den hedonischen Daten entnommen werden: Der Rohstoff war im Gesamtgeschmack am beliebtesten. Es folgen, mit leichtem Gefallen, der geröstete Natto und der angebratene Tempeh. Entgegengesetzt dazu zeichneten sich bei beiden reinen fermentierten Prototypen ein Missfallen ab. Allem voran bei Natto-Pur. In der Textur waren Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet am liebsten, dann der Standard. Unbeliebt waren wieder beide reinen Prototypen von Tempeh und Natto.

Diese Beliebtheitsreihenfolge wurden von den Penalty-Daten untermauert. Die reinen Fermentationsprodukte wiesen in den Attributen viele Nennungen im „nicht

optimal“-Bereich auf. Dahingegen sind bei den weiterverarbeiteten Fermentationsprodukten meist die Mehrheit der Prüfpersonen mit den Attributen zufrieden. Ausnahmen sind nussig und knackig, welche bei einer nicht optimalen Bewertung mehrheitlich als zu schwach empfunden wurden. Verbesserungspotenzial konnte dennoch in allen fermentierten Prototypen aufgezeigt werden. Aufgrund fehlender Signifikanzen war eine Aussage bezüglich der Richtungsanpassung der Attribute zur Beliebtheitssteigerung nicht immer möglich.

Es muss berücksichtigt werden, dass die gewonnenen Erkenntnisse nicht repräsentativ für die Zielgruppe der Verbraucher sind, da kein Konsumententest durchgeführt wurde. Sie genügen aber, um einen ersten Eindruck über die Unterschiede gegenüber dem Rohstoff und Optimierungsbedarf aufzuzeigen. Scheinbar ist die Weiterverarbeitung der puren Fermentationsprodukte bedeutend für die Produktbeliebtheit. Aus diesem Grund und den vorherigen Recherchen zu afrikanischen Konsumvorlieben in der Diskussion sind Tempeh-Gebraten und Natto-Geröstet für eine fortführende Produktentwicklung zu empfehlen.

Literaturverzeichnis

- Adebawo, O.; Osilesi, A.; Atoyebi, J. O. (2017): Sensory Evaluation of Bambara Groundnut (*Vignasubterranea* (L.) Verdc.) Food Products in Ibadan, Nigeria 5. *In: IJAIR* 5 (5), S. 820–824. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/318672438>, zuletzt geprüft am 05.02.2025.
- Ahnan-Winarno, A. D.; Cordeiro, L.; Winarno, F. G.; Gibbons, J.; Xiao, H. (2021): Tempeh: A semicentennial review on its health benefits, fermentation, safety, processing, sustainability, and affordability. *In: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20 (2), S. 1717–1767. DOI: 10.1111/1541-4337.12710.
- Aruwajoye, N. N.; Buthelezi, N. M. D.; Mditshwa, A.; Tesfay, S. Z.; Magwaza, L. S. (2023): Assessing the Impact of Roasting Temperatures on Biochemical and Sensory Quality of Macadamia Nuts (*Macadamia integrifolia*). *In: Foods* 12 (11). DOI: 10.3390/foods12112116.
- Böckler F.; Dill B.; Eisenbrand G.; Faupel F.; Fugmann B.; Gamse T. et al. (2002): Feststoff-Fermentation. Hg. v. Georg Thieme Verlag. Online verfügbar unter <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-06-00613>, zuletzt geprüft am 18.12.2024.
- Bongartz, A. (2013): Special: Methoden der Sensorischen und Hedonischen Analytik. *In: Ernährungs Umschau* (5), S. 274–285. Online verfügbar unter <https://www.ernaehrungs-umschau.de/print-artikel/14-05-2013-special-methoden-der-sensorischen-und-hedonischen-analytik/>, zuletzt geprüft am 08.03.2025.
- Bongartz, A.; Mürset, U.; ZHAW (2011). Statistische Methoden in der Sensorik (Teil 2): „Verbrauchertests“. *In: DLG-Expertenwissen* (6). Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/lebensmittelsensorik/2011_6_Expertenwissen_Verbrauchertests.pdf, zuletzt geprüft am 08.05.2025.

- Bongartz, A.; Pfeiffer, B. (2010): SENSORIK-PANELS (Teil 2): Methoden zur Prüferschulung, zum Panelmonitoring, zur Panelperformance und zur Panelmotivation. *In: DLG-Expertenwissen (6)*. Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/Lebensmittelsens orik/2010_6_Expertenwissen_Prueferschulung_Panelmonitoring.pdf, zuletzt geprüft am 08.03.2025.
- Chin, X. H.; Soh, R.; Chan, G.; Ng, P.; Thong, A.; Elhalis, H. et al. (2025): Modulating the aroma and taste profile of soybean using novel strains for fermentation. *In: Current Research in Food Science 10*. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100933.
- Cichonska, P.; Kostyra, E.; Piotrowska, A.; Scibisz, I.; Rozsko, M. (2024): Enhancing the sensory and nutritional properties of bean-based and lentil-based beverages through fermentation and germination. *In: LWT - Food Science and Technology 199*. DOI: 10.1016/j.lwt.2024.116140.
- Duodu, K. G.; Apea-Bah, F. B. (2017): African Legumes: Nutritional and Health-Promoting Attributes. *In: J. Taylor und J. Awika (Hg.): Gluten-Free Ancient Grains. Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and Health-Promoting Foods for the 21st Century. Woodhead Publishing (Food Science, Technology and Nutrition), S. 223–269*. DOI: 10.1016/B978-0-08-100866-9.00009-1.
- Elhalis, H.; Chin, X. H.; Chow, Y. (2023): Soybean fermentation: Microbial ecology and starter culture technology. *In: Food Science and Nutrition 64 (21)*, S. 7648–7670. DOI: 10.1080/10408398.2023.2188951.
- Errington, J.; van der Aart, L. T. (2020): Microbe Profile: *Bacillus subtilis*: model organism for cellular development, and industrial workhorse. *In: Microbiology 166 (5)*, S. 425–427. DOI: 10.1099/mic.0.000922.
- Fadahunsi, I. F. (2009): The Effect of Soaking, Boiling and Fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the Water Soluble Vitamin Content of Bambara Groundnut. *In: Pakistan Journal of Nutrition 8 (6)*, S. 835–840. DOI: 10.3923/pjn.2009.835.840.

- Fizz Acquisition 2.7: Biosystemes. Online verfügbar unter <https://www.biosystemes.com/en/>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Fritsche, W. (2002): Mikrobiologie. Unter Mitarbeit von F. Laplace. 3. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Gere, A.; Szabó, Z.; Pásztor-Huszár, K.; Orbán, C.; Kókai, Z.; Sipos, L. (2017): Use of JAR-Based Analysis for Improvement of Product Acceptance: A Case Study on Flavored Kefirs. *In: Journal of Food Science* 82 (5), S. 1200–1207. DOI: 10.1111/1750-3841.13701.
- Gregory, P. J.; Mayes, S.; Hui, C. H.; Jahanshiri, E.; Julkifle, A.; Kuppusamy, G. et al. (2019): Corps For the Future (CCF): An overview of research efforts in the adoption of underutilised species. *In: Planta* 250, S. 979–988. DOI: 10.1007/s00425-019-03179-2.
- Hanrieder, D. (2012): Effiziente Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung sensorischer Prüfungen (Teil 1). *In: DLG-Expertenwissen* (3). Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/lebensmittelsensorik/2012_3_Expertenwissen_Planung_sensorischer_Pruefungen_Teil_1.pdf, zuletzt geprüft am 08.03.2025.
- Henzler, H. J.; Schedel, M. (1991): Suitability of the shaking flask for oxygen supply to microbiological cultures. *In: Bioprocess Engineering* 7 (3), S. 123–131. DOI: 10.1007/BF00369423.
- Hildebrandt, G.; Schneider-Häder, B. (2009): Sensorische Analyse: Methodenüberblick und Einsatzbereiche – DLG-Sensorik. *In: DLG-Expertenwissen* (2). Online verfügbar unter <https://search.app/MCKmRWqTvwARoJow8>, zuletzt geprüft am 08.03.2025.
- Hillocks, R. J.; Bennett, C.; Mponda, O. M. (2012): BAMBARA NUT: A REVIEW OF UTILISATION, MARKET POTENTIAL AND CROP IMPROVEMENT. *In: African Crop Science Journal* 20 (1), S. 1–16. Online verfügbar unter

<https://www.researchgate.net/publication/332379592>, zuletzt geprüft am 05.03.2025.

Holzappel, W. (Hg.) (2015): *Advances in Fermented Foods and Beverages. Improving Quality, Technologies and Health Benefits*. 1. Aufl.: Woodhead Publishing (Food Science, Technologie and Nutrition). DOI: 10.1016/C2013-0-16431-8.

Hong, H. H.; Kim, M. K. (2020): Physiochemical Quality and Sensory Characteristics of koji Made with Soybean, Rice, and Wheat for Commercial doenjang Production. *In: Foods* 9 (8), S. 975. DOI: 10.3390/foods9080975.

IUL (2022): Serielle Verdünnung – Der Albtraum jedes Mikrobiologen. Online verfügbar unter <https://iul-instruments.com/de/serielle-verduennung-der-albtraum-jedes-mikrobiologen/>, zuletzt aktualisiert am 14.11.2022, zuletzt geprüft am 28.02.2025.

Jeleń, H.; Majcher, M.; Ginja, A.; Kuligowski, M. (2013): Determination of compounds responsible for tempeh aroma. *In: Food Chemistry* 141 (1), S. 459–465. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.03.047.

Keweloh, H. (Hg.) (2006): *Mikroorganismen in Lebensmitteln. Theorie und Praxis der Lebensmittelhygiene*. 1. Aufl.: Pfanneberg GmbH & Co. KG.

Khan, M. H.; Rafii, M. Y.; Ramlee, S. I.; Jusoh, M.; Al-Mamun, M. (2021): Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc): A Crop for the New Millennium, Its Genetic Diversity, and Improvements to Mitigate Future Food and Nutritional Challenges. *In: Sustainability* 13 (10). DOI: 10.3390/su13105530.

Kłosowski, G.; Mikulski, D.; Pielech-Przybylska, K. (2021): Pyrazines Biosynthesis by *Bacillus* Strains Isolated from Natto Fermented Soybean. *In: Biomolecules* 11 (11). Online verfügbar unter <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8615529/>, zuletzt geprüft am 03.02.2025.

Kreutz, H. (2023): Tempeh in der Küche. Eiweißreiche Zutat aus fermentierten Sojabohnen. Hg. v. BZfE. Online verfügbar unter

<https://www.bzfe.de/service/news/aktuelle-meldungen/news-archiv/meldungen-2023/september/tempeh-in-der-kueche/>, zuletzt geprüft am 03.03.2025.

LABOAO (Hg.) (2023): Faktoren, die die Leistung der geschlossenen Festkörperfermentation beeinflussen. Online verfügbar unter <https://de.laboao.com/news/technical-knowledge/factors-affecting-the-performance-of-closed-solid-state-fermentation>, zuletzt geprüft am 03.03.2025.

LAMBDA Laboratory Instruments (2025): LAMBDA Dosierpumpen für Verdünnungsreihen. Online verfügbar unter <https://www.schlauchpumpen.com/dosierpumpe-verduennungsreihen-labor/>, zuletzt aktualisiert am 24.04.2018, zuletzt geprüft am 08.03.2025.

Lin Tan, X.; Azam-Ali, S.; Goh, E. von; Mustafa, M.; Hui, C. H.; Kuan Ho, W. et al. (2020): Bambara Groundnut: An Underutilized Leguminous Crops for Global Food Security and Nutrition. In: *Frontiers in Nutrition* 7. DOI: 10.3389/fnut.2020.601496.

Liu, K. S. (2008): Food Use of Whole Soybeans. In: L. A. Johnson, P. J. White und R. Galloway (Hg.): *Soybeans. Chemistry, production, processing, and utilization*. Urbana: AOCS Press, S. 441–481. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978189399764650017>, zuletzt geprüft am 04.03.2025.

Mahama, A. A. (2023): Bambara Groundnut (*Vigna subterranea*). In: K. Chen und P. Byrne (Hg.): *Understudied Indigenous Crops*. Online verfügbar unter <https://colostate.pressbooks.pub/understudiedindigenouscrops/chapter/bambara-groundnut/>, zuletzt geprüft am 28.01.2025.

Mayes, S.; Kuan Ho, W.; Hui Chai, H.; Gao, X.; Kundy, A. C.; Mateva, K. I. et al. (2019): Bambara groundnut: an exemplar underutilised legume for resilience under climate change. In: *Planta* 250 (3), S. 803–820. DOI: 10.1007/s00425-019-03191-6.

- Mazahib, A. M.; Nuha, M. O.; Salawa, I. S.; Babiker, E. E. (2013): Some nutritional attributes of bambara groundnut as influenced by domestic processing. *In: International Food Research Journal* 20 (3), S. 1165–1171. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/287634158_Some_nutritional_attributes_of_bambara_groundnut_as_influenced_by_domestic_processing, zuletzt geprüft am 08.03.2025.
- Meier, J. (Hg.) (2002): Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung. 1. Aufl. 3 Bände. Hamburg: Behr's Verlag (1).
- Meier, J.; Bongartz, A.; Guth, N. J.; Jung, R.; Derndorfer, E.; Schneider-Häder, B. (2020): Praxisleitfaden zur Panelschulung Teil 3. Messung der Leistungsfähigkeit sensorischer Prüfer und Panels. *In: DLG-Expertenwissen* (2). Online verfügbar unter <https://www.dlg.org/mediacenter/alle-publikationen/dlg-expertenwissen/lebensmittelsensorik/dlg-expertenwissen-02-2020-praxisleitfaden-zur-panelschulung-teil-3>, zuletzt geprüft am 27.02.2025.
- Munk, K. (2018): Taschenbuch Biologie: Mikrobiologie. Unter Mitarbeit von P. Dersch, B. Eikmanns, M. Eikmanns, R. Fischer, D. Jahn, M. Jahn et al. 2. Aufl. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Novustat (Hg.) (2024): SPSS: Mittelwert berechnen und z-Standardisierung. Online verfügbar unter <https://novustat.com/statistik-blog/spss-mittelwert-berechnen.html#:~:text=Die%20Mittelwertzentrierung%20verschiebt%20die%20Variablen%20um%20ihren%20Mittelwert%2C,insbesondere%20bei%20der%20Analyse%20von%20Wechselwirkungen%20zwischen%20Variablen>, zuletzt geprüft am 19.02.2025.
- Nwadi, O. M. M.; Uchegbu, N.; Oyeyinka, S. A. (2020): Enrichment of food blends with bambara groundnut flour: Past present, and future trends. *In: Legume Science* 2 (1). DOI: 10.1002/leg3.25.
- Pandey, A. (2003): Solid-state fermentation. *In: Biochemical Engineering Journal* 13 (2-3), S. 81–84. DOI: 10.1016/S1369-703X(02)00121-3.

- Pawelec, J. (2025): Sorting challenges of the Milling and Grain Processing Industry. Hg. v. MEYER. Online verfügbar unter <https://meyer-corp.eu/article/sorting-challenges-of-the-milling-and-grain-processing-industry/>, zuletzt geprüft am 22.02.2025.
- Peng, C.; Zhang, Y.; Ye, X.; Zheng, Y.; Chen, Y.; Mei, X. et al. (2023): Physicochemical properties and aroma characteristics of broad bean koji produced by disk starter propagation technology. *In: Journal of Food Composition and Analysis* 123. DOI: 10.1016/j.jfca.2023.105643.
- Ptach, C. (2011). Statistische Methoden in der Sensorik (Teil 1): „Analytische Prüfungen“. *In: DLG-Expertenwissen* (1). Online verfügbar unter https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/lebensmittelsensorik/2011_1_Expertenwissen_analytische_Pruefungen_Teil_1.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Refaat, A. A.; Abdel-Hady, H., M.; Amin, S., A.; Emam, A. M. (2018): Production and Evaluation of Soybean Tempeh to Use as a Ready to Eat Meal in Egyptian Hotels. *In: AFSJ* 5 (1), S. 1–9. DOI: 10.9734/AFSJ/2018/43681.
- Rocchi, R.; Zwinkels, J.; Kooijman, M.; Garre, A.; Smid, E. J. (2024): Development of novel natto using legumes produced in Europe. *In: Heliyon* 10 (5). DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26849.
- Rocha, I. S.; Santana, L. R. R.; Soares, S. E.; Da Bispo, E. S. (2017): Effect of the roasting temperature and time of cocoa beans on the sensory characteristics and acceptability of chocolate. *In: Food Sci. Technol* 37 (4), S. 522–530. DOI: 10.1590/1678-457X.16416.
- Schlee, D.; Kleber, H.-P. (1991): *Biotechnologie*. 2. Aufl. 2 Bände. Jena: Gustav Fischer (1).
- Sen Gupta, D.; Sharanagat, V. S.; Chakraborty, G.; Kumar, J.; Parihar, A. K.; Yadav, T. et al. (2025): Urdbean (*Vigna mungo* L. Hepper) cultivar characterization based on multiple seed and flour properties and their multivariate analysis using artificial neural network. *In: Food Prod Process and Nutr* 7 (26), S. 1–14. DOI: 10.1186/s43014-024-00297-7.

- Senanayake, D.; Torley P.J.; Chandrapala, J.; Terefe, N. S. (2023): Microbial Fermentation for Improving the Sensory, Nutritional and Funktional Attributes of Legumes. *In: Fermentation 9 (7)*. DOI: 10.3390/fermentation9070635.
- DIN EN ISO 8589, 2014-10: Sensorische Analyse - Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen.
- DIN EN ISO 8586, 2023-09: Sensorische Analyse - Auswahl und Schulung von Prüfpersonen.
- Sfakianakis, V. (2018): Solid State Fermentation of soybeans residues. Hg. v. A. P. Trzcinski. DOI: 10.13140/RG.2.2.25843.22569.
- Soccol, C. R.; Ferreira da Costa, E. S.; Letti, L. A. J.; Karp, S. G.; Woiciechowski, A. L.; VPorto de Souza Porto de Souza Vandenberghe, L. (2017): Recent developments and innovations in solid state fermentation. *In: Biotechnology Research and Innovation 1 (1)*, S. 52–71. DOI: 10.1016/j.biori.2017.01.002.
- Syukri, D.; Sylvi, D.; Ramadani, S., F. (2022): EFFECT OF VARIOUS COOKING METHODS ON QUALITY AND SENSORY CHARACTERISTICS OF TEMPEH MADEFROM SOYBEANS AND CORN. *In: Andalusian International Journal of Agriculture and Natural Sciences 3 (2)*, S. 87–113. DOI: 10.25077/aijans.v3.i02.87-113.2022.
- Tee, A. J.; Lim, Y. S.; Brameld, J. M.; Massawe, F.; Parr, T.; Salter, A. M. (2023): Fermentation Technology Enhances the Nutritional Quality of Underutilized Bambara Groundnut. *In: Food Biotechnology 37 (2)*, S. 106–135. DOI: 10.1080/08905436.2023.2201307.
- Tian, F.; Woo, S. Y.; Lee, S. Y.; Park, S. B.; Im, J. H.; Chun, H. S. (2022): Mycotoxins in soybean-based foods fermented with filamentous fungi: Occurrence and preventive strategies. *In: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 21 (6)*, S. 5131–5152. DOI: 10.1111/1541-4337.13032.

f3f79e8a6525&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cueGViaW9zLmRIL2l0ZW1zL2hIZ
mVleHRyYWt0LWdsdWNvc2UtY2hsb3JhbXB0ZW5pY29sLWFnYXl0eWdj
LWFnYXlucGRm&ntb=1, zuletzt geprüft am 28.02.2025.

XLSTAT Sensory: Lumivero. Online verfügbar unter
<https://www.xlstat.com/de/loesungen/sensory>, zuletzt geprüft am
18.02.2025.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Ergebnisse der Verdünnungsstufen

Anlage 2: Hedonik-Bewertungsbogen der Vorversuche

Anlage 3: Natto-Herstellungsanleitung des Herstellers

Anlage 4: Trainingspanel für die deskriptive Analyse

Anlage 5: Hedonik-Bewertungsbogen der Hauptversuche

Anlage 6: Deskriptiver Bewertungsbogen Im FIZZ-Programm der Hauptversuche

Anlage 7: Selbstständigkeitserklärung

Ergebnisse der Verdünnungsstufen

| Verdünnungsstufe | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | 10^{-7} |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aspergillus awamori (in KbE) | Keine sichtbaren Kolonien | | | | |
| Rhizopus oligosporus (in KbE) | n.a. | 92/105 | 7/10 | 1/0 | 0/0 |

Tab. 3 Sichtbare Kolonien nach 24 h der zwei Agar-Platten pro Verdünnungsstufe

| Verdünnungsstufe | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | 10^{-7} |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aspergillus awamori (in KbE) | n.a. | n.a. | n.a. | 57/73 | 6/3 |
| Rhizopus oligosporus (in KbE) | n.a. | | 8/12 | 1/0 | 0/0 |

Tab. 4 Sichtbare Kolonien nach 48 h der zwei Agar-Platten pro Verdünnungsstufe

Hedonik-Bewertungsbogen der Vorversuche

B/S/H/


**Vorversuch:****Datum:**

Bitte bewerte die folgenden Kategorien nach Gefallen mit Noten von 1 bis 9.

Liked extremely=9; like very much=8; like moderately=7; like slightly=6; neither like nor dislike=5; dislike slightly=4; dislike moderately=3; dislike very much=2; dislike extremely=1

| Bewertungskriterium | Punkte | Bewertungsgrund/Bemerkungen |
|---------------------|--------|-----------------------------|
| Aussehen | | |
| Geruch | | |
| Geschmack | | |
| Textur | | |
| Gesamtprodukt | | |

Natto-Herstellungsanleitung des Herstellers



Herstellung von Natto

Natto ist ein traditionelles japanisches Lebensmittel, hergestellt aus ganzen, gekochten (gedämpften) Sojabohnen und einer Bakterienkultur (Natto Starter), also ein fermentiertes Sojabohnen-Produkt. Durch diese Bakterien (*Bacillus subtilis* var Natto) wird aus den gekochten Sojabohnen eine klebrige, Fäden ziehende Masse, die aussieht wie gebackene Bohnen, die von langen Fasern zusammengehalten werden. (Wenn man die Natto Bohnen auseinanderzieht).

Natto ist eine hervorragende Protein Quelle und verleiht jedem Getreide-, Nudelgericht oder einer Suppe eine kräftige Würzung. Es hat ein starkes Aroma und kann auch nach Ammoniak riechen.

Herstellung:

ca. 600 g ganze, gelbe Sojabohnen waschen, über Nacht in Wasser einweichen. Am nächsten Tag prüfen, ob alle Sojabohnen so viel Wasser aufgenommen haben wie möglich. Die Sojabohnen sollten glatt und nicht runzelig sein.

Die Sojabohnen in einem Sieb abtropfen lassen. In einen Topf füllen, frisches Wasser dazu bis die Sojabohnen gut bedeckt sind. Schnell zum Kochen bringen. Den weißen Schaum abschöpfen, die oben schwimmenden Hülsen ebenfalls.

6 bis 7 Stunden köcheln lassen, bis man die Bohnen leicht zwischen Daumen und Finger zerdrücken kann. (Im Drucktopf kochen die Bohnen ca. 30 Minuten. Es kann durch den Schaum und durch lose Hülsen jedoch Probleme beim Kochen im Drucktopf geben).

Das Kochwasser abgießen und die Sojabohnen auf ca. 40°C abkühlen lassen (warm, aber nicht heiß beim anfassen).

Nun ist eine Menge von ca. 1 kg Sojabohnen entstanden.

Umfüllen in ein Glasschale oder in einen Edelstahlbehälter, Größe ca. 22 x 25 x 5 cm ist ausreichend, die Bohnen sollen nicht höher als 5 cm liegen.

Streue 1/4 bis 1/3 Teelöffel = 1 g pulverisierten Natto Starter gleichmäßig über die Bohnen und mische das Ganze sorgfältig. Die Masse auf gleiche Höhe/Stärke bringen und mit Frischhaltefolie abdecken, um die Feuchtigkeit zu halten. Leicht mit einem Küchenhandtuch abdecken und die Uhrzeit notieren.

Die Masse soll bei 40° C für 6 – 8 Stunden fermentieren, so entsteht ein relativ mildes Aroma mit mäßig entwickelten Fäden oder Fasern.

Um längere ‚Fäden/Fasern‘ und ein traditionelles Aroma zu erreichen sollte das Natto 12 Stunden oder länger fermentieren. Falls die Temperatur unter 40°C fallen sollten kann die Fermentation ein paar Stunden länger dauern.

Das Natto ist fertig ,wenn beim Abziehen der Frischhaltefolie ein paar Sojabohnen an der Folie kleben bleiben. Wenn man einen Löffel in dieses Natto steckt und wieder heraus zieht bleiben ein paar dünne und ein paar dicke Bohnen kleben, das Natto verströmt ein kräftiges Ammoniak Aroma.

Das fertige Natto sollte luftdicht verschlossen (z.B. in einem Glas mit Deckel) im Kühlschrank gelagert werden. Es kann auch eingefroren werden.

Trainingspanel für die deskriptive Analyse



ttz Bremerhaven Sensorikpanel – Panelsitzung 124: Vorbereitung Bambara-Projekt (2024)

Name: _____
 Datum: _____



Bambara-Projekt 0 (Vorbereitung)

Diese Panelsitzung hat zum Ziel, euch weiter auf Hülsenfrüchte vorzubereiten.

- 1) Attributgenerierung: Attribute zur Beschreibung von Geschmack & Mundgefühl von 5 verschiedenen Hülsenfrüchten
- 2) Intensitätsbestimmung von Geschmacksattributen und Mundgefühl/ Textur-Attributen
- 3) Ranking von „nussig“ und bitter

Aufgabe 1: Attributgenerierung

Wir benötigen Deine Hilfe für die vorläufige Erstellung eines Attributlexikons für die sensorische Beschreibung von verschiedenen Hülsenfrüchten, und zwar zur Beschreibung:

- 1) des Geschmacks & des Nachgeschmacks
- 2) und des Mundgefühls bzw. der empfundenen Textur im Mund.

Du hast für jede Probe 7 Minuten Zeit, nutze dafür bitte die Stoppuhr und nutze bitte wirklich 5-7 Min. für jede Probe.

Generiere bitte 7 Geschmacks- und 5 Mundgefühlattribute. Wichtig sind vor allem die Attribute, die die Proben besonders unterscheiden. Fordere bei Bedarf Probe nach, solltest Du mehr benötigen.

Neutralisiere bitte nach dem Prinzip flüssig-fest-flüssig mit Apfel/Gurke oder auf Nachfrage Matzen.

| Probe Nr. | Geschmack | Nachgeschmack | Mundgefühl/ empfundene Textur im Mund |
|-----------|-----------|---------------|---------------------------------------|
| 362 | | | |
| 807 | | | |
| 684 | | | |
| 110 | | | |
| 330 | | | |

| Attribute | Standard | | | Tempeh-Pur | | | Tempeh-Gebraten | | | Natto-Pur | | | Natto-Geröstet | | |
|-----------------|----------|----|----|------------|----|----|-----------------|----|----|-----------|----|----|----------------|----|----|
| | G | NG | MG | G | NG | MG | G | NG | MG | G | NG | MG | G | NG | MG |
| adstringierend | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | |
| alkoholisch | | | | 3 | 2 | | 2 | | | 1 | | | 1 | | |
| belegend | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 3 | | | 2 |
| bissfest | | | 3 | | | | | | 1 | | | 4 | | | 4 |
| bitter | 3 | 5 | | 8 | 7 | | 6 | 7 | | 7 | 2 | | 5 | 2 | |
| bohlig | 7 | | | 2 | 3 | | 7 | 3 | | 6 | 6 | | 6 | 4 | |
| erbsig | 4 | | | | 1 | | | 2 | | | 2 | | 2 | 2 | |
| erdig | 6 | 3 | | 3 | 3 | | 3 | 3 | | 6 | 5 | | 2 | 2 | |
| erdnussig | 2 | 2 | | | | | | | | 2 | 1 | | 2 | | |
| feste Schale | | | 2 | | | | | 4 | | | | 4 | | | 7 |
| fettig, ölig | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | | 3 | | 2 |
| fleischig | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| glatt | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| glibberig, | | | | | | 2 | | | 1 | | | | | | |
| hefig | | | | 1 | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| heterogen | 2 | | 2 | | 1 | | | | 1 | | 3 | | 1 | | |
| kartoffelig | 2 | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | 2 | | |
| kastanig | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| knackige Schale | | | 2 | | | | | | 2 | | | 5 | | | 5 |
| mehlig | 3 | 1 | 10 | 2 | 1 | 5 | | | 4 | 1 | 1 | 7 | 1 | 1 | 6 |
| muffig | | | | 5 | 4 | 1 | 4 | 1 | | | | | | | |
| nussig | 5 | 3 | | 3 | 2 | | 6 | 2 | | 8 | 4 | | 8 | 2 | |
| pilzig | 3 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 2 | | |
| rauchig | 1 | | | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| röstig | 4 | 1 | | 2 | 1 | | 5 | | | 3 | 2 | | | 5 | |
| sämig | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | | |
| samtig | | | 2 | | | 1 | | | | | | 1 | | | |
| sauer | 1 | | | 4 | 2 | | 3 | 1 | | 2 | 1 | | | | |
| stückig | | | 2 | | | 2 | | | 1 | | | 3 | | | 2 |
| süß | 6 | | | 1 | 1 | | 2 | 1 | | 2 | 2 | | 3 | 2 | |
| umami | 1 | 1 | | 2 | 2 | | 2 | 2 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| verbrannt | | | | | | | | 1 | | | | | 2 | 2 | |
| vergoren | | | | 6 | 1 | | 1 | 1 | | 2 | 1 | | 1 | | |
| weich | | | 8 | | | 9 | | | 8 | | | 2 | | | 4 |
| würzig | 1 | 1 | | 2 | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | |

Tab. 5 Attributnennungen von der Attributgenerierung im Geschmack (G), Nachgeschmack (NG) und Mundgefühl (MG) des Trainingspanels



Name: _____

Datum: _____

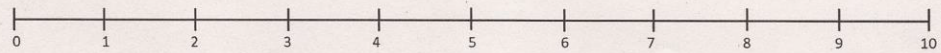
Aufgabe 2: Intensitäten in Geschmack und Mundgefühl/Textur

Mit dieser Aufgabe wollen wir die Intensitäten ausgewählter Attribute bestimmen.
Hierfür erhältst Du noch einmal die 5 Proben aus Aufg. 1.

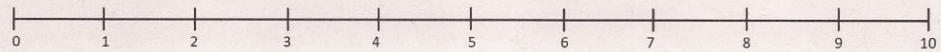
Strukturierte Linienskala: 0 kein Eindruck; 1-2 sehr schwach; 3-4 schwach; 5 mittel; 6-7 stark; 8-9 sehr stark; 10 extrem stark

Probe 561 - Geschmack

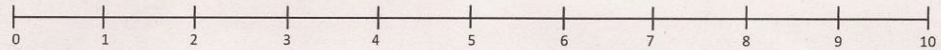
Beschreibe die Intensität für bitter:



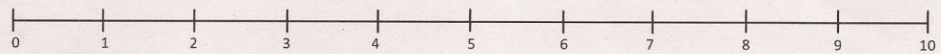
Beschreibe die Intensität für bohlig:



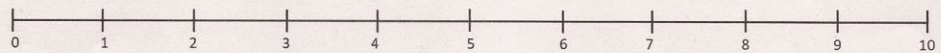
Beschreibe die Intensität für erdig:



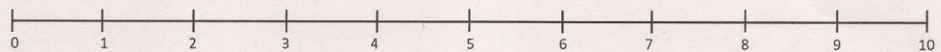
Beschreibe die Intensität für pilzig:



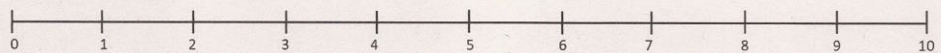
Beschreibe die Intensität für nussig:



Beschreibe die Intensität der Röst-Note:



Beschreibe die Gesamt-Intensität:



Name: _____
Datum: _____

Attributlexikon

Ergänze bitte die Attributdefinitionen aus der heutigen Sitzung.

G = Geschmack bis **kurz nach dem Schlucken**

NG = Nachgeschmack **im Zeitraum 30-60 Sek.** nach dem Schlucken

| Modalität | Attribut | Beschreibung |
|------------------|---------------------------|--|
| Geschmack | Nussig (G) | Vergleichbar mit der Nussigkeit in Haselnuss, Paranuss, Erdnuss |
| | Süß | Allgemeine Süße |
| | Bohnig | Vergleichbar mit der Bohnigkeit in Kidneybohnen, weiße Bohnen, grünen Bohnen (Kichererbse) |
| | Erdig | Vergleichbar mit dem erdigen Geschmack von feuchter Erde, Humus bzw. muffig, dumpf (erdige Kartoffeln) |
| | Röstig (G + NG) | Röstig bzw. rauchig, verbrannt, gebräunt |
| | Bitter (G + NG) | Allgemeine Bitterkeit |
| | Gesamtintensität (G + NG) | Intensität des Gesamtgeschmacks |
| Textur | Weich | Weiche Textur im Inneren |
| | Mehlig | Mehlige Textur im Inneren |
| | Knackig | Knackigkeit der Schale |

Hedonik-Bewertungsbogen der Hauptversuche

Name: _____

26.11.2024

Liebe Verkosterin, lieber Verkoster,

Heute bewerten wir 5 verschiedene Bambara Erdnuss-Produkte. Die Bambara Erdnuss ist eine sehr nährstoffreiche, aber eher wenig genutzte Bohne aus Afrika, bei der vor allem in der Entwicklung neuer Produkte Forschungsbedarf besteht. Im Rahmen meiner Bachelorarbeit möchte ich herauszufinden, ob sich in Bezug auf Geschmack und Textur eine Verbesserung durch verschiedene Verarbeitungsverfahren erzielen lässt. Die Verkostung wird ca. 15 Min. in Anspruch nehmen. Neutralisiere zwischen den Produkten bitte mit Wasser. Fragen können jeder Zeit gestellt und bei Bedarf kann Produkt nachgereicht werden.

Vielen Dank für die Teilnahme!

Probennummer: _____

1) Bewerte bitte folgende sensorische Merkmale. Sind sie zu stark oder zu wenig ausgeprägt oder genau richtig?
Geschmack:

| Gefällt mir: | Viel zu schwach | Zu schwach | Genau richtig | Zu stark | Viel zu stark |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nussig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Süße | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Bohnig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Röstig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Erdig | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Bitter | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Intensität des Gesamtgeschmacks | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Textur:

| Gefällt mir: | Viel zu schwach | Zu schwach | Genau richtig | Zu stark | Viel zu stark |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Knackig (Textur d. Schale) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Weich (Textur d. Inneren) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mehlig (Textur d. Inneren) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2) Wie sehr gefällt Dir das Produkt im Gesamten?
Gesamteindruck:

| Gefällt mir: | ... überhaupt nicht | ... sehr schlecht | ... schlecht | ... ein wenig | ... weder noch | ... mäßig gut | ... gut | ... sehr gut | ... extrem gut |
|--------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Geschmack | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mundgefühl | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

3) Hast Du weitere Anmerkungen zu diesem Produkt?

Deskriptiver Bewertungsbogen Im FIZZ-Programm der Hauptversuche

Judge - preview - O:\FIZZ\Fizzdata\2024\Bambara Erdnuss2\PS125_BambaraMessung2_session.sea

Bambara Erdnuss - Messung 2

In dieser Messung bewerten wir den Geschmack und Nachgeschmack von 15 Proben, eine nach der anderen

„G“ steht für die maximale Geschmacksintensität im Mund, bis kurz nach dem Schlucken.

„NG“ steht für die maximale Intensität im gesamten Nachgeschmackszeitraum, bis ca. 60 Sek nach dem Schlucken.

Nutze bitte die Stoppuhr in Deiner Kabine.

Fizz Judge - preview - O:\FIZZ\Fizzdata\2024\Bambara Erdnuss2\PS125_BambaraMessung2_session.sea

0 = abwesend, 1 = sehr schwach/gerade über der Erkennungsschwelle 10 = sehr intensiv

| | |
|------------------|--|
| Nussig-G | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Süß-G | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Bohlig-G | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Bitter-G | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Bitter-NG | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Röstig-G | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |
| Röstig-NG | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ○○○○○○○○○○○○ |

0 = abwesend, 1 = sehr schwach/gerade über der Erkennungsschwelle 10 = sehr intensiv

Knackig (ausßen)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Weich (innen)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Mehlig (innen)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Selbstständigkeitserklärung

Durch meine Unterschrift erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Entwicklung von Prototypen aus Bambara-Erdnüssen (*Vigna subterranea* L.) mittels Feststofffermentation und deren sensorischen Analyse“ selbständig verfasst und in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt habe. Ich habe alle von mir genutzten Hilfsmittel und Quellen, einschließlich generativer Modelle/KI angegeben und die den verwendeten Quellen und Hilfsmitteln wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen in Form von Zitaten kenntlich gemacht. Darüber hinaus habe ich keine Hilfsmittel verwendet.

Halle, den 10.03.2025



Unterschrift