HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Entwicklung einer frischen groben Bratwurst mit partieller Substitution des Fleischanteils durch Hülsenfrüchte

Bachelorarbeit

im Studiengang
Lebensmitteltechnologie

vorgelegt von

Florian Wedtrat

am 24.02.2026
an der Hochschule Neubrandenburg

URN: **urn : nbn : de : gbv : 519-thesis: 2025-0061-0**

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Marco Ebert
Zweitprüfer/in: Prof. Dr. oec. troph. Jörg Meier

Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit war die Entwicklung einer frischen groben Bratwurst mit partieller Substitution des Fleischanteils durch Lupinenkerne sowie die Untersuchung der technologischen, sensorischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften. Im Rahmen eines Vorversuchs wurde zunächst die geeignete Zerkleinerungsgröße der Lupinenkerne ermittelt. Darauf aufbauend wurden im Hauptversuch Bratwürste mit unterschiedlichen Lupinenanteilen hergestellt und mittels physikalisch-chemischer Analysen sowie sensorischer Prüfung bewertet. Ergänzend erfolgte eine ernährungsphysiologische Betrachtung anhand von Nährwertberechnungen und der Bestimmung der Proteinqualität. Die Ergebnisse zeigen, dass Lupinenkerne grundsätzlich für die partielle Substitution von Fleisch in groben Bratwürsten geeignet sind. Moderate Substitutionsstufen ermöglichen eine gute technologische Stabilität und sensorische Akzeptanz, während höhere Anteile zu stärkeren Veränderungen in Geschmack und Textur führen. Ernährungsphysiologisch ergeben sich leichte Vorteile, insbesondere durch reduzierte Fettgehalte bei vergleichbarer Proteinqualität.

Insgesamt verdeutlicht die Arbeit das Potenzial von Lupinen als pflanzlichen Rohstoff für hybride Fleischprodukte, zeigt jedoch auch Grenzen hinsichtlich sensorischer Eigenschaften und Produktstruktur bei steigenden Substitutionsgraden auf.

Schlagwörter: Lupinenkerne, grobe Bratwurst, Hybridfleischprodukt, Fleischsubstitution, Hülsenfrüchte, Sensorik, Lebensmitteltechnologie, Produktentwicklung

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to develop a fresh coarse bratwurst with partial substitution of the meat content by lupine seeds and to investigate its technological, sensory und nutritional properties. In a preliminary test, the appropriate size for grinding the lupine seeds was first determined. Based on this, bratwursts with different proportions of lupine were produced in the main test and evaluated using physical-chemical analyses and sensory testing. In addition, a nutritional analysis was carried out based on nutritional value calculations and the determination of protein quality. The results show that lupine seeds are generally suitable for the partial substitution of meat in coarse bratwurst sausages. moderate substitution levels enable good technological stability and sensory acceptance, while higher proportions lead to more significant changes in taste and texture. There are slight nutritional advantages, particularly due to reduced fat content with comparable protein quality.

Overall, the study highlights the potential of lupins as a plant based raw material for hybrid meat products but also points out limitations in terms of sensory properties and product structure as substitution levels increase. (DeepL, 2026)

Keywords: lupine seeds, coarse bratwurst, hybrid meat product, meat substitute, legumes, sensory analysis, food technology, product development

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **2**

Abstract **2**

Inhaltsverzeichnis **3**

Abbildungsverzeichnis **5**

Tabellenverzeichnis **6**

KI-Nutzungshinweis **7**

Abkürzungsverzeichnis **8**

1 Einleitung **9**

2 Stand der Technik **11**

2.1 Frische grobe Bratwurst – technologische Grundlagen 11

2.2 Hybrid-Fleischprodukte 12

2.3 Hülsenfrüchte als Fleischersatz 13

2.4 Lupine als funktioneller Rohstoff 14

3 Material und Methoden **15**

3.1 Rohstoffe und Materialien 15

3.1.1 Rohstoffe 15

3.1.2 Geräte und Hilfsmittel 15

3.2 Versuchsaufbau – Überblick 16

3.3 Vorbereitung der Lupinenkerne 17

3.4 Physikalisch-chemische Analysen 18

3.4.1 Farbmessung 18

3.4.2 Wasseraktivität 19

3.4.3 pH-Messung 19

3.4.4 Trockenmasse und Restfeuchte 20

3.4.5 Garverlust 20

3.4.6 Texturanalyse 21

3.4.7 Kerntemperatur 21

3.5 Auswahl der sensorischen Prüfmethode 22

3.6 Durchführung der Sensorik 23

3.7 Statistische Auswertung der Sensorik 23

3.8 Ernährungsphysiologische Berechnungen 24

4 Ergebnisse **25**

4.1 Ergebnisse des Vorversuchs 25

4.1.1 Laboranalytik 27

4.1.2 Sensorik 33

4.2 Ergebnisse des Hauptversuchs 35
4.2.1 Laboranalytik 36
4.2.2 Sensorik 47
4.3 Ernährungsphysiologie 50

5 Diskussion 52
5.1 Auswertung der Ergebnisse 52
5.2 Fazit und Ausblick 55

6 Anhang 56

Literaturverzeichnis 69

Eidesstattliche Erklärung 71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Brät der verschiedenen Zerkleinerungsvarianten 26
Abbildung 2: Diagramm der L-Werte der Farbmessung im Vorversuch 27
Abbildung 3: Diagramm der a-Werte der Farbmessung im Vorversuch 27
Abbildung 4: Diagramm der b-Werte der Farbmessung im Vorversuch 28
Abbildung 5: Diagramm der Wasseraktivitätswerte im Vorversuch 29
Abbildung 6: Diagramm der pH-Werte im Vorversuch 30
Abbildung 7: Diagramm der Trockenmasse und Restfeuchte im Vorversuch 31
Abbildung 8: Diagramm der Beliebtheitswerte des Vorversuches 33
Abbildung 9: Brät der verschiedenen Konzentrationsvarianten 35
Abbildung 10: Diagramm der L-Werte der Farbmessung im Hauptversuch 36
Abbildung 11: Diagramm der a-Werte der Farbmessung im Hauptversuch 37
Abbildung 12: Diagramm der b-Werte der Farbmessung im Hauptversuch 37
Abbildung 13: Diagramm der Wasseraktivitätswerte im Hauptversuch 38
Abbildung 14: Diagramm der pH-Werte im Hauptversuch 39
Abbildung 15: Diagramm der Trockenmasse und Restfeuchte im Hauptversuch 40
Abbildung 16: Diagramm des prozentualen Garverlustes im Hauptversuch 41
Abbildung 17: Texturanalyse-Diagramm Probe 1 (Dreifachbestimmung) 42
Abbildung 18: Texturanalyse-Diagramm Probe 2 (Dreifachbestimmung) 43
Abbildung 19: Texturanalyse-Diagramm Probe 3 (Dreifachbestimmung) 43
Abbildung 20: Texturanalyse-Diagramm Probe 4 (Dreifachbestimmung) 44
Abbildung 21: Texturanalyse-Diagramm Probe 5 (Dreifachbestimmung) 44
Abbildung 22: Texturanalyse-Diagramm Probe 6 (Dreifachbestimmung) 45
Abbildung 23: Diagramm der Beliebtheitswerte des Hauptversuches 47
Abbildung 24: Prüfbogen Vorversuch 56
Abbildung 25: Prüfbogen Hauptversuch (Seite 1) 57
Abbildung 26: Prüfbogen Hauptversuch (Seite 2) 58
Abbildung 27: Excel-Tabelle zur Berechnung der versch. Rezepturen 59
Abbildung 28: Excel-Übersicht der Bestellung der Rohstoffe 59
Abbildung 29: Excel-Tabelle der Ergebnisse des Vorversuches 60
Abbildung 30: Excel-Tabelle der Ergebnisse des Hauptversuches 61
Abbildung 31: Sensorik-Ergebnisse des Vorversuches 63
Abbildung 32: Sensorik-Ergebnisse des Hauptversuches 64
Abbildung 33: Excel-Berechnungen der PDCAAS-Werte 65
Abbildung 34: Excel-Berechnungen der Nährwerte 66
Abbildung 35: Excel-Berechnungen der Beliebtheiten von Vor- und Hauptversuch 67
Abbildung 36: Texturanalyse Report-Datei 68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grundrezeptur der entwickelten Lupinenbratwurst für 1000 g 25
Tabelle 2: Rezeptur angepasst an 20 % Lupinen für 1000 g 26
Tabelle 3: Ergebnisse der Farbmessung im Vorversuch 28
Tabelle 4: Ergebnisse der Wasseraktivitätsmessung im Vorversuch 29
Tabelle 5: Ergebnisse der pH-Messung im Vorversuch 30
Tabelle 6: Ergebnisse der Trockenmasse und Restfeuchte im Vorversuch 31
Tabelle 7: Trockenmasse und Restfeuchte von Lupinenkernen und -mehl 32
Tabelle 8: Rezepturanpassungen an prozentuale Lupinenanteile im Hauptversuch 36
Tabelle 9: Ergebnisse der Farbmessung im Hauptversuch 38
Tabelle 10: Ergebnisse der Wasseraktivität im Hauptversuch 39
Tabelle 11: Ergebnisse der pH-Werte im Hauptversuch 40
Tabelle 12: Ergebnisse der Trockenmasse und Restfeuchte im Hauptversuch 41
Tabelle 13: Ergebnisse des Garverlustes im Hauptversuch 42
Tabelle 14: Kennwerte zur Berechnung des PDCAAS der 0 %- und 10 %-Variante 50
Tabelle 15: Nährwerttabelle der 0 %- und 10 %-Variante für 100 g mit Differenz 51
Tabelle 16: Aufschlüsselung der Codierungen 62

KI-Nutzungshinweis

Im Rahmen der Erstellung dieser Arbeit wurden die KI-gestützten Sprachmodelle ChatGPT 5.2 und DeepL unterstützend genutzt. Die Verwendung beschränkt sich auf Brainstorming, sprachliche Umformulierungen sowie stilistische Optimierungen einzelner Textpassagen und die Übersetzung in die englische Sprache.

Die inhaltliche Ausarbeitung, Analyse, Bewertung sowie die Auswahl, Prüfung und Verwendung sämtlicher Quellen erfolgten eigenständig durch den Verfasser. Alle in der Arbeit dargestellten Inhalte wurden kritisch überprüft und verantwortet.

Abkürzungsverzeichnis

PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score
AAS	Amino Acid Score
SF	Schweinefleisch
SB	Schweinebauch
LK	Lupinenkerne
FAO	Food and Agriculture Organization
LMIV	Lebensmittel-Informationsverordnung
TVP	Textured Vegetable Protein
g	Gramm
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DIN	Deutsches Institut für Normung
SD	Standardabweichung (engl. Standard Deviation)
Kendall´s W	Kendall´scher Konkordanzkoeffizient
χ^2	Chi-Quadrat
p	p-Wert (Signifikanzwert)

1 Einleitung

Der Konsum von Fleisch und Fleischprodukten steht seit mehreren Jahren zunehmend im Fokus gesellschaftlicher, ökologischer und ernährungsphysiologischer Diskussionen. Neben Aspekten wie Umweltbelastung, Ressourceneffizienz und Tierwohl rücken auch gesundheitliche Fragestellungen sowie eine nachhaltigere Proteinversorgung verstärkt in den Vordergrund. Aus diesen Gründen wächst das Interesse an alternativen Produktkonzepten, die den Fleischanteil reduzieren, ohne dabei vollständig auf Fleisch zu verzichten. Insbesondere sogenannte „Hybridprodukte“, bei denen tierische und pflanzliche Rohstoffe kombiniert werden, gelten als vielversprechender Ansatz, um den Übergang zu einer nachhaltigeren Ernährung zu erleichtern und gleichzeitig sensorische Erwartungen der Verbraucher zu erfüllen.

Bratwürste sind tief in der deutschen Esskultur verankert, zählen zu den traditionsreichsten Fleischprodukten und zeichnen sich durch eine vergleichsweise einfache Rezeptur sowie eine hohe technologische Variabilität aus. Aufgrund ihrer breiten Akzeptanz und der klar definierten technologischen Eigenschaften eignen sich grobe Bratwürste besonders gut als Modellprodukt für die Entwicklung und Untersuchung hybrider Fleischwaren. Die grobe Struktur, bei der Fleischstücke sichtbar bleiben und die Bindung primär durch Muskelprotein, Fett und Salz erfolgt, stellt jedoch spezifische Anforderungen an die eingesetzten Rohstoffe und deren funktionelle Eigenschaften. Eine partielle Substitution des Fleischanteils kann daher die Textur, Farbe und sensorische Qualität des Endproduktes maßgeblich beeinflussen.

Als pflanzliche Proteinquelle gewinnen Hülsenfrüchte in der Lebensmitteltechnologie zunehmend an Bedeutung. Sie zeichnen sich durch einen hohen Proteingehalt, eine vergleichsweise günstige Aminosäurezusammensetzung sowie vielfältige funktionelle Eigenschaften aus. Neben etablierten Rohstoffen, wie Erbse oder Ackerbohne, rückt insbesondere die Lupine verstärkt in den Fokus von Forschung und Industrie. Lupine weisen eine hohe Wasserbindungs- und Emulgierfähigkeit auf und besitzen das Potential, technologische Funktionen von tierischem Protein teilweise zu übernehmen. Gleichzeitig können sie jedoch sensorische Veränderungen hervorrufen, beispielsweise in Bezug auf Farbe, Geschmack oder Textur, die die Akzeptanz des Produkts beeinflussen können.

Die Entwicklung hybrider Fleischprodukte stellt daher eine technologische Herausforderung dar, bei der funktionelle Eigenschaften, sensorische Qualität, und Verbraucherakzeptanz in Einklang gebracht werden müssen. Insbesondere bei rohen groben Bratwürsten ist bislang nur begrenzt untersucht, in welchem Umfang der Fleischanteil durch Lupinenprodukte ersetzt werden kann, ohne die produktspezifischen Eigenschaften signifikant zu beeinträchtigen. Neben analytischen Untersuchungen sind dabei sensorische Prüfungen von zentraler Bedeutung, da sie einen direkten Rückschluss auf die Akzeptanz durch potenzielle Konsumentinnen und Konsumenten ermöglichen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, eine rohe grobe Bratwurst mit partieller Substitution des Fleischanteils durch Lupinenkerne zu entwickeln und deren technologischen sowie sensorischen Eigenschaften zu untersuchen. Hierzu werden unterschiedliche Substitutionsstufen hergestellt und im Labor hinsichtlich ausgewählter physikalisch-chemischer Parameter, wie Farbe, Textur, pH-Wert und Bratverlust analysiert. Ergänzend erfolgt eine sensorische Bewertung der Bratwürste, um den Einfluss der Lupinensubstitution auf Aussehen, Konsistenz, Geschmack und Gesamteindruck aus Sicht der Konsument*innen zu erfassen. Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse soll beurteilt werden, in welchem Umfang Lupinenkerne als geeigneter Rohstoff zur Fleischreduktion in groben Bratwürsten eingesetzt werden können und welche Grenzen sich aus technologischer und sensorischer Sicht ergeben.

2 Stand der Technik

Der theoretische Hintergrund dient der Einordnung der zugrunde liegenden fachlichen und wissenschaftlichen Konzepte, welche für das Verständnis der Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt werden, erforderlich sind. Dabei wird auf die technologischen Grundlagen von frischen groben Bratwürsten, Hybrid-Fleischprodukten und Hülsenfrüchten beziehungsweise Lupinenkernen als Fleischersatz eingegangen.

2.1 Frische grobe Bratwurst – technologische Grundlagen

Grobe Bratwürste stellen eine traditionelle Form frischer Wurstwaren dar und sind in zahlreichen regionalen Ausprägungen in Deutschland verbreitet, darunter beispielsweise fränkische, pfälzische, hessische oder rheinische Bratwürste. Trotz regionaler Unterschiede weisen diese Erzeugnisse gemeinsame technologische Merkmale auf, die ihre Einordnung als grobe Bratwurst erlauben.

Als Ausgangsmaterial dienen überwiegend grob entfettetes Schweinefleisch sowie fettreiche Schweinefleischanteile, die gemeinsam die charakteristische Zusammensetzung aus Muskel- und Fettgewebe bilden. In Abhängigkeit von der Rezeptur kann zusätzlich ein Grundbrät eingesetzt werden. Vereinzelt ist auch die Verwendung von grob entsehntem Kalb- oder Rindfleisch zulässig. Die Auswahl und Kombination der Fleischrohstoffe bestimmen die Textur, den Fettgehalt und die sensorischen Eigenschaften des Endproduktes.

Ein wesentliches technologisches Merkmal grober Bratwürste ist der vergleichsweise geringe Zerkleinerungsgrad der Rohstoffe. Das Fleisch wird grob zerkleinert, sodass im Endprodukt eine deutlich sichtbare Struktur mit erbsengroßer Körnung erhalten bleibt. Diese grobe Struktur beeinflusst sowohl das Mundgefühl als auch das visuelle Erscheinungsbild und unterscheidet grobe Bratwürste klar von fein zerkleinerten Brühwürsten oder emulgierten Wurstwaren.

Im Gegensatz zu umgeröteten Wurstwaren werden grobe Bratwürste in der Regel ohne den Einsatz von Nitritpökelsalz hergestellt und sind somit nicht umgerötet. Die Wurstmasse wird üblicherweise in Naturdärme, insbesondere Schafsaitlinge oder Schweinedärme gefüllt. Diese tragen zusätzlich zur typischen Textur und zum sensorischen Gesamteindruck bei.

Grobe Bratwürste gelangen häufig roh in den Verkehr und sind für den zeitnahen Verzehr bestimmt. Der Verzehr erfolgt in der Regel nach einer thermischen Behandlung, insbesondere durch Braten oder Brühen. Aufgrund der geringen Prozessintensität und der fehlenden Konservierungschritte kommt der Qualität der eingesetzten Rohstoffe sowie der hygienischen Herstellung eine besondere Bedeutung zu. Technologische Parameter wie Wasserbindung, Fettverteilung, pH-Wert und Strukturstabilität sind daher entscheidend für die Produktqualität. (Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse, 2022)

2.2 Hybrid-Fleischprodukte

Tierische Lebensmittel wie Fleisch, Fisch, Milch oder Eier weisen komplexe strukturelle Eigenschaften auf, die maßgeblich durch die enthaltenen Proteine bestimmt werden. Insbesondere die in Muskelfleisch vorkommenden fibrillären Proteinstrukturen beeinflussen Textur, Mundgefühl und physikochemische Eigenschaften dieser Produkte. Pflanzliche Proteine unterscheiden sich davon deutlich in ihrer molekularen Struktur und Funktionalität, was die Nachbildung tierischer Produkte technisch anspruchsvoll macht. Auch auf allgemeiner Ebene weisen pflanzliche Inhaltsstoffe andere funktionelle Eigenschaften auf als tierische Komponenten. Dadurch ist die Entwicklung pflanzlicher Lebensmittel, die die Eigenschaften tierischer Produkte exakt imitieren, häufig mit technologischen Herausforderungen verbunden. Vor diesem Hintergrund werden in der Lebensmittelentwicklung verschiedene Rohstoffe gezielt kombiniert, um gewünschte Eigenschaften zu erreichen. Pflanzliche Proteine, Polysaccharide und Fette können beispielsweise zusammen eingesetzt werden, um Struktur, Textur und physikochemische Eigenschaften von Lebensmitteln gezielt zu beeinflussen.

> *„Pflanzenproteine sind in allen Produkten eine der wichtigsten Zutaten, da sie vielseitige funktionelle Eigenschaften haben und auch zu einem ähnlichen Nährwertprofil wie Fleisch beitragen“ (McClements, Grossmann, & Wagemans, 2024)*

Die Kombination dieser Komponenten ermöglicht die Einstellung spezifischer Produktmerkmale, da funktionelle Eigenschaften wie Gelbildung, Wasserbindung oder Stabilität aus dem Zusammenspiel der einzelnen Zutaten entstehen. Durch die gezielte Formulierung solcher Systeme können Produkte mit gewünschten texturellen Eigenschaften hergestellt werden. Diese technologischen Grundlagen bilden die Basis für Produktkonzepte, bei denen tierische und pflanzliche Komponenten gemeinsam eingesetzt werden. Die Kombination unterschiedlicher Rohstoffe ermöglicht es, die jeweiligen funktionellen Eigenschaften gezielt zu nutzen und gleichzeitig strukturelle Anforderungen an das Endprodukt zu erfüllen. Während tierische Proteine zur Ausbildung charakteristischer Texturen beitragen, können pflanzliche Komponenten ergänzende Funktionen übernehmen, beispielsweise im Hinblick auf Wasserbindung, Stabilität oder Strukturmodulation. Darüber hinaus steht die Entwicklung neuer Produktkonzepte im Zusammenhang mit Veränderungen im Ernährungs- und Konsumverhalten. Die steigende Nachfrage nach pflanzlichen Lebensmitteln und die Herausforderungen im Zusammenhang mit der Produktion tierischer Lebensmittel führen dazu, dass neue Ansätze zur Reduktion tierischer Rohstoffe entwickelt werden. Pflanzliche Alternativen sollen dabei Eigenschaften tierischer Produkte nachbilden und in bestehende Ernährungsgewohnheiten integrierbar sein. In diesem Kontext lassen sich hybride Fleischprodukte als technologischer Ansatz verstehen, bei dem pflanzliche und tierische Rohstoffe kombiniert werden, um funktionelle, strukturelle und ernährungsphysiologische Anforderungen miteinander zu verbinden. Die gezielte Integration unterschiedlicher Komponenten ermöglicht die Entwicklung komplexer Systeme, bei denen sowohl bekannte Produkteigenschaften erhalten bleiben als auch neue funktionelle Effekte genutzt wer-

den können. Hybride Produkte stellen damit eine Schnittstelle zwischen klassischen Fleischprodukten und vollständig pflanzlichen Alternativen dar. Sie ermöglichen eine partielle Substitution tierischer Rohstoffe, ohne vollständig auf die strukturellen und sensorischen Eigenschaften fleischbasierter Produkte verzichten zu müssen und bieten somit einen technologischen Ansatz zur Weiterentwicklung moderner Lebensmittelkonzepte. (McClements, Grossmann, & Wagemans, 2024) (Kompetenzzentrum für Ernährung (kErn), 2018)

2.3 Hülsenfrüchte als Fleischersatz

Hülsenfrüchte nehmen eine zentrale Rolle bei der Entwicklung pflanzlicher Fleischalternativen ein, da sie sowohl ernährungsphysiologisch als auch technologisch geeignete Eigenschaften zur Substitution tierischer Rohstoffe aufweisen. In den letzten Jahrzehnten ist die Bedeutung pflanzlicher Lebensmittel deutlich gestiegen, was unter anderem auf veränderte Verbraucherpräferenzen, gesundheitliche Aspekte sowie Umwelt- und Tierschutzüberlegungen zurückzuführen ist. Parallel dazu hat sich ein wachsender Markt für pflanzliche Alternativprodukte entwickelt, insbesondere im Bereich fleischähnlicher Erzeugnisse. Pflanzliche Fleischalternativen werden gezielt so konzipiert, dass sie die Eigenschaften tierischer Produkte möglichst genau nachbilden. Dazu zählen insbesondere Aussehen, Textur, Geschmack und das ernährungsphysiologische Profil. Ziel ist es, Verbraucherinnen und Verbrauchern Produkte anzubieten, die sich in bestehende Ernährungsgewohnheiten integrieren lassen und Fleisch in gewohnten Anwendungen ersetzen können, beispielsweise in Form von Burgern, Hackfleisch oder Würsten auf pflanzlicher Basis. Die Entwicklung solcher Produkte wurde durch technologische Fortschritte wesentlich vorangetrieben. Bereits in den 1960er Jahren kamen texturierte pflanzliche Proteine (TVP) auf den Markt, die erstmals gezielt zur Nachbildung der strukturellen Eigenschaften von Fleisch eingesetzt wurden. Seitdem haben sich sowohl das Wissen über funktionelle pflanzliche Inhaltsstoffe als auch die Verarbeitungstechnologien deutlich weiterentwickelt. Moderne Verfahren, etwa Extrusion oder andere strukturgebende Prozesse, ermöglichen heute die Herstellung komplexer Lebensmittelstrukturen, die der Muskelstruktur von Fleisch ähneln. Ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung pflanzlicher Fleischalternativen besteht darin, die komplexen strukturellen Eigenschaften von Fleisch nachzuahmen. Fleisch weist aufgrund seiner Faserstruktur und seines Protein-Fett-Netzwerks spezifische biologische und sensorische Eigenschaften auf, die maßgeblich zur Textur und zum Mundgefühl beitragen. Pflanzliche Alternativen müssen daher so gestaltet werden, dass sie vergleichbare Eigenschaften aufweisen, um als akzeptabler Ersatz wahrgenommen zu werden. Neben technologischen Aspekten spielen auch sensorische Faktoren eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz pflanzlicher Fleischersatzprodukte. Studien zeigen, dass Verbraucher eher bereit sind, auf Fleisch zu verzichten, wenn pflanzliche Alternativen diesen in Geschmack, Aussehen und Konsistenz möglichst nah kommen. Daher liegt ein besonderer Fokus der Produktentwicklung auf der gezielten Nachbildung dieser Eigenschaften durch geeignete Rohstoffe, Zusatzstoffe und Verarbeitungs-

techniken. Hülsenfrüchte stellen in diesem Zusammenhang eine besonders wichtige Rohstoffgruppe dar. Sie liefern pflanzliches Protein, Ballaststoffe sowie weitere funktionelle Inhaltsstoffe und werden daher häufig als Basis für Fleischersatz eingesetzt. Darüber hinaus können ihre Proteine technologische Funktionen übernehmen, etwa im Hinblick auf Gelbildung, Emulgierung oder Wasserbindung, wodurch sie zur Ausbildung fleischähnlicher Strukturen beitragen. Hülsenfrüchte bieten somit sowohl ernährungsphysiologische als auch technologische Vorteile als Fleischersatz. Ihre Bedeutung wird voraussichtlich weiter zunehmen, da die Nachfrage nach pflanzlichen Lebensmitteln steigt und gleichzeitig die Entwicklung neuer Technologien die Herstellung qualitativ hochwertiger Alternativprodukte ermöglicht. Gleichzeitig bleibt die Herausforderung bestehen, Produkte zu entwickeln, die hinsichtlich sensorischer Eigenschaften, Nährstoffzusammensetzung und Verbraucherakzeptanz mit tierischen Erzeugnissen konkurrieren können. (McClements, Grossmann, & Wagemans, 2024)

2.4 Lupine als funktioneller Rohstoff

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer frischen groben Bratwurst mit reduziertem Fleischanteil unter Einsatz von Lupinenkernen als pflanzlicher Fleischersatz. Lupinenkerne wurden ausgewählt, da sie sowohl technologisch als auch ernährungsphysiologisch geeignete Eigenschaften für den Einsatz in Wurstsystemen aufweisen und gleichzeitig als regional verfügbarer Rohstoff zur Reduktion tierischer Komponenten beitragen können. Neben beispielsweise Soja werden Lupinenkerne als alternative pflanzliche Proteinquelle gewählt, da sie vergleichbare technologische Eigenschaften aufweisen, bislang jedoch weniger stark in Fleischersatzprodukten etabliert sind und somit ein relevantes Entwicklungspotenzial bieten. (Kompetenzzentrum für Ernährung (kErn), 2018)

3 Material und Methoden

3.1 Rohstoffe und Materialien

3.1.1 Rohstoffe

- Schweinebauch der Firma Chefs Culinar Charge: 2409780
- Schweinenuss der Firma Chefs Culinar Charge: 17706745
- Süßlupinenkerne (getrocknet) der Firma Beutna Food GmbH
  Charge: 6224009422647
- Süßlupinenmehl der Firma Mühlenlädle Charge: 0737925775613
- Schweinedarm Kaliber 26/28
- Speisesalz (NaCl)
- Pfeffer schwarz gemahlen der Firma Fuchs Professional Los Nr.: 1148BC
- Majoran gerebelt der Firma Fuchs Charge: L0176BA
- Macisblüte hell gemahlen der Firma Oehler & Kaatz Charge: L-117293701/2
- Muskatnuss gemahlen der Firma Kotanyi Art. Nr.: 45201406
- Zitronenschale gemahlen der Firma Ostmann Charge: L3200CE
- Ingwer gemahlen der Firma Ostmann Charge: L1021CA
- Rapsöl
- Trinkwasser

3.1.2 Geräte und Hilfsmittel

Geräte:

- Fleischwolf Firma Kolbe mit Zubehör
- Feinwaage
- Wurstfüller Firma Dick mit Zubehör
- Kochplatte
- Thermomix Firma Vorwerk
- aw-Wert-Messgerät AQUALAB CX-2 mit Probenschalen
- pH-Messgerät WTW Multi 9620 IDS
- LAB-Messgerät ColorFlex EZ der Firma HunterLab
- Texturanalysator TA-XT2i
- Trockenmasse-Messgerät Firma Sartorius
- Einstechthermometer

Hilfsmittel:

- Messer
- Kettenhandschuh
- Topf
- Schüssel
- Esslöffel
- Holzlöffel
- Pfannen
- Abtropfsieb
- Grillzange
- Probenbehälter
- Servietten
- Snackgabel
- Trinkbecher

3.2 Versuchsaufbau – Überblick

Die Arbeit unterteilt sich in zwei Versuche. Dabei wird der erste Versuch als Vorversuch und der zweite Versuch als Hauptversuch bezeichnet. Im Vorversuch geht es darum, die Zerkleinerungsgröße der Süßlupinenkerne zu ermitteln, die am besten für die Bratwurst geeignet ist. Dafür werden vier verschiedene Chargen an Bratwürsten hergestellt, welche allesamt die exakt gleichen Zutaten beinhalten. Der einzige Unterschied hierbei ist, dass sich die Partikelgröße der Süßlupinenkerne unterscheidet. Die Bratwürste werden einem Sensorik-Panel vorgelegt, mit der Aufgabe, die beliebteste Partikelgröße zu kennzeichnen. Die am besten bewertete Partikelgröße wird daraufhin im Hauptversuch verwendet.

Im zweiten Versuch, dem Hauptversuch, werden sechs verschiedene Bratwurst-Chargen hergestellt. Dabei wird die beliebteste Zerkleinerungsgröße der Süßlupinenkerne, welche zuvor im Vorversuch ermittelt wurde, verwendet. Im Hauptversuch geht es darum, verschiedene Konzentrationen der Süßlupinenkerne in den Bratwürsten sensorisch und physikalisch-chemisch zu bewerten.

Die Herstellung der Bratwürste läuft wie folgt ab. Das Fleisch, welches in ganzen Stücken geliefert wird, muss mit Hilfe eines Messers in fleischwolfgerechte Stücke geschnitten werden. Dabei ist zu beachten, dass die Gesundheit der Person nicht gefährdet werden darf, weshalb das Tragen eines Kettenhandschuhs vorausgesetzt wird. Daraufhin werden die Stücke in Vakuumbeuteln verpackt und eingefroren, damit das Fleisch bei der Weiterverarbeitung aller Chargen die gleiche Qualität aufweist. Dieser Schritt wird durchgeführt, da die Versuche an verschiedenen Tagen durchgeführt werden.

Vor der Weiterverarbeitung des Fleisches wird dieses etwa 24 Stunden zuvor schonend aufgetaut. Sobald dies geschehen ist, wird das Fleisch aus dem Vakuumbeutel entpackt und mit Hilfe des Fleischwolfs gewolft.

Der Fleischwolf ist folgendermaßen aufgebaut:

- Vorschneider
- Messer
- Lochscheibe 7,5 mm
- Messer
- Lochscheibe 5 mm
- Abstandshalter
- Überwurfmutter

Während das Fleisch verarbeitet wird, werden die Lupinenkerne in einem Topf mit Wasser etwa eine Stunde lang gekocht, bis sie deutlich an Volumen zugenommen haben und eine weiche Textur vorweisen. Sobald das Fleisch gewolft wurde, kann es den Angaben des Rezeptes entsprechend gewogen werden. Die Gewürze und die Lupinenkerne, welche je nach Versuch unterschiedlich zerkleinert werden, werden ebenfalls dem Rezept entsprechend abgewogen. Die Mengen werden in einer Schüssel zusammengeführt und händisch vermischt, bis eine homogene Verteilung aller Zutaten zu sehen ist. Die Därme werden auf einer nassen Arbeitsfläche ausgebreitet, auf Verknotungen untersucht und daraufhin in einer Schüssel mit lauwarmem Wasser eingeweicht. Im nächsten Schritt wird ein Darm auf das Füllrohr des Wurstfüllers gestülpt und das Brät in den Füller gegeben. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass so wenig Lufteinschlüsse wie möglich im Brät vorhanden sind, um Luftblasen in der Wurst zu vermeiden. Die Presse des Wurstfüllers wird so lang heruntergekurbelt, bis Brät aus dem Füllrohr austritt. Erst dann wird der Darm verknotet. Dies ist ebenfalls ein wichtiger Schritt, um Luftblasen in den Würsten zu vermeiden. Dann wird der Darm vorsichtig und gleichmäßig mit Brät gefüllt. Ist das gesamte Brät in den Darm gefüllt worden, so wird das Ende des Darms erneut verknotet. Daraufhin wird der gefüllte Darm zu 15 bis 20 cm langen Würsten abgedreht. Mit einem Messer werden die Würste voneinander getrennt und können nun mit etwas Öl in einer Pfanne durchgegart werden. (Sielaff, 1996)

3.3 Vorbereitung der Lupinenkerne

Vor der Weiterverarbeitung der Süßlupinenkerne wurde eine Vorbehandlung durchgeführt, um deren Verarbeitbarkeit und die sensorischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften zu verbessern. Die getrockneten Lupinenkerne werden zunächst in ausreichend Wasser über Nacht eingeweicht. Das Einweichen dient der Hydratisierung und führt zu einer verkürzten Garzeit. Anschließend werden die Kerne in Wasser gegart, da Hülsenfrüchte grundsätzlich einer thermischen Behandlung bedürfen, um enthaltene antinutritive Inhaltsstoffe zu reduzieren und eine sichere Verwendung zu gewährleisten. Durch das Erhitzen werden unter anderem hitzelabile sekundäre Pflan-

zenstoffe sowie unerwünschte Inhaltsstoffe inaktiviert. Nach dem Garprozess werden die Lupinenkerne abgetropft und abgekühlt und je nach Versuchsvariante weiterverarbeitet. (de Groot, 2011) (Kompetenzzentrum für Ernährung (kErn), 2018)

3.4 Physikalisch-chemische Analysen

Um die entwickelten Bratwürste nicht nur subjektiv, sondern auch objektiv zu betrachten und zu bewerten, werden verschiedene Laboranalysen durchgeführt. Dabei werden sowohl chemische als auch physikalische Aspekte in Betracht gezogen.

3.4.1 Farbmessung

Die Messung des sogenannten Lab-Wertes erfolgt mit Hilfe des ColorFlex EZ der Firma HunterLab. Dieser Wert beschreibt die Farbe des Produktes anhand von drei verschiedenen Parametern. Diese lassen sich wie folgt erklären:

Der L-Wert beschreibt die Helligkeit des Produktes. Bei L=0 ist das Produkt schwarz und bei L=100 weiß. Dazwischen befinden sich dementsprechend mit steigender Zahl immer heller werdende Grautöne.

Der a-Wert besagt, wie grün bzw. rot das Produkt ist. Ist dieser Wert negativ, so ist das Produkt eher grün. Daraus folgend ist das Produkt bei einem positiven a-Wert eher rot.

Der b-Wert besagt, wie blau bzw. gelb das Produkt ist. Ist dieser Wert negativ, so ist das Produkt eher blau. Daraus folgend ist das Produkt bei einem positiven a-Wert eher gelb.

Die Messung dieser Werte läuft wie folgt ab. Zuerst wird das Gerät durch das Gedrückthalten der „Blitz-Taste“ auf der Vorderseite des Gerätes angeschaltet. Daraufhin sollte das Gerät laut Benutzerhandbuch standardisiert werden. Nach dem Start der Standardisierung wird der Benutzer dazu aufgefordert, erst das schwarze Glas auf die Öffnung an der Oberseite des Gerätes zu legen. Daraufhin wird das Glas entfernt und die weiße Kachel auf die Öffnung gelegt. Sobald dies durchgeführt wurde, ist die Standardisierung abgeschlossen und die tatsächlichen Messungen können durchgeführt werden.

Da in dieser Arbeit mit Bratwürsten gearbeitet wird und der Darm beim Garprozess oft starke Bräunungserscheinungen aufzeigt, wird nur das gegarte Brät für die Farbuntersuchungen herangezogen. Bei den Messungen ist zu beachten, dass das Produkt die Öffnung so gut wie möglich bedeckt. Dies wird gewährleistet, indem das Produkt in den dafür vorgesehenen Behälter gefüllt und mit dem beiliegenden Stempel flachgedrückt wird. Nachdem der befüllte Behälter auf die Messöffnung gestellt wurde, wird das Produkt mit der beiliegenden Kappe abgedunkelt, um Störungen während des Mesvorgangs zu vermeiden. Das Gerät führt für jede Probe automatisch drei Meswiederholungen durch. Zwischen jeder Wiederholung wird der Produktbehälter auf der Messöffnung ein Stück gedreht, um am Ende einen verwendbaren Mittelwert zu erhalten. Dieser wird am Ende der drei Messwiederholungen nach weiterem Betätigen der „Blitz-

Taste“ durch das Gerät berechnet und ausgegeben. Daraufhin wird der Produktbehälter geleert und gründlich gereinigt, bevor die nächste Probe gemessen werden kann. Eine Reinigung mit fettlösenden Mitteln ist wichtig, um einen möglichen Fettfilm im Probenbehälter zu entfernen, welcher die Messung verfälschen kann. Zudem sollte mit entionisiertem Wasser nachgespült werden, um ebenso störende Kalkablagerungen durch das Leitungswasser zu vermeiden. Die Proben haben zum Zeitpunkt der Messungen Zimmertemperatur. (HunterLab, 2026)

Die ermittelten Werte sind in Kapitel 4.1.1.1 und 4.2.1.1 aufgeführt.

3.4.2 Wasseraktivität

„Von der Wasseraktivität sind die Vermehrung und die Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen, der oxidative Lipidabbau, die nichtenzymatische Bräunung […], die Aktivität von Enzymen und ferner bestimmte Texturveränderungen […] abhängig.“ (Sielaff, 1996)

Zur Ermittlung der Wasseraktivität wird das AQUALAB CX-2 verwendet. Dafür wird die entsprechende Probe händisch zerkleinert und in eine beiliegende Probenschale gefüllt. Die Probenschale sollte ungefähr bis zur Hälfte mit Produkt gefüllt sein. Nach Anschalten des Gerätes durch den „POWER-Schalter“ an der Gerätevorderseite kann die Probenlade herausgezogen werden, sofern sich der Drehregler auf der Position „OPEN/LOAD“ befindet. Nun wird die Probenschale in die passende Aussparung in der Probelade gestellt und diese wieder in das Gerät geschoben. Die Messung startet, sobald der Drehregler auf die Position „READ“ gedreht wird. Die Probentemperatur und der a_w-Wert werden nach abgeschlossener Messung auf dem Display angezeigt. Die fertige Messung wird durch ein Audiosignal gekennzeichnet. (Decagon Devices Inc., 2026)

Die ermittelten Werte sind in Kapitel 4.1.1.2 und 4.2.1.2 aufgeführt.

3.4.3 pH-Messung

Die Messung des pH-Wertes erfolgt durch das WTW Multi 9620 IDS. Dieser beschreibt, wie sauer oder basisch eine entsprechende Probe ist und ergibt sich aus dem negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Daraus ergibt sich eine Skala von 0 (sauer) bis 14 (basisch), wobei entionisiertes Wasser einen pH-Wert von 7 aufweist.

Vor den Messungen wird das Gerät auf eine korrekte Kalibrierung geprüft. Dafür wird die Sonde in eine entsprechende Standardlösung gegeben und der Soll- mit dem Ist-Wert verglichen. Stimmen diese überein, so können die Messungen durchgeführt werden. Weichen die Werte voneinander ab, so muss das Gerät kalibriert werden.

Die Messung der pH-Werte läuft folgendermaßen ab. Die Bratwurst wird halbiert und die Messsonde wird so in das Brät geschoben, dass sie vollständig von der Probe um-

schlossen ist. Sobald sich der Wert auf dem Display des Gerätes einpegelt, wird dieser übernommen.

Die ermittelten Werte sind in Kapitel 4.1.1.3 und 4.2.1.3 aufgeführt.

3.4.4 Trockenmasse und Restfeuchte

Die Restfeuchte beziehungsweise Trockenmasse der Proben wird mit dem Feuchtebestimmer der Firma Sartorius durchgeführt. Die Restfeuchte ist, wie auch der a_w-Wert, für die Bewertung der Haltbarkeit und Verderblichkeit von Lebensmitteln wichtig, denn ein niedriger Wassergehalt trägt zur Konservierung dieser bei. Die Feuchte eines Lebensmittels kann zudem aber auch einen Einfluss auf die Textur und somit auch auf das Geschmackserlebnis haben.

Die gewählte Bestimmungsmethode zählt unter die Gravimetrie, also die Bestimmung der Werte mit Hilfe von präziser Wägung. Das Gerät wird aufgeklappt und eine Probenschale aus Aluminium wird auf die Wägevorrichtung gegeben. Durch Betätigen der „ENTER-Taste“ wird die Masse der Probenschale tariert. Daraufhin kann die Probe auf die Probenschale gegeben werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die Masse der Probe mindestens 0,1 Gramm beträgt. Ein entsprechender Hinweis wird auf dem Display des Gerätes angezeigt. Die Probe sollte zudem homogen zerkleinert sein. Nach Schließen des Gerätes startet die Messung. Die Heizstäbe im Gerät erzeugen Wärme, wodurch das Wasser in der Probe verdunstet und die Probe an Masse verliert. Das Gerät signalisiert das Ende der Messung mit einem Audiosignal. Die Differenz zwischen der Anfangsmasse und der Endmasse beschreibt die Restfeuchte der Probe. (Sartorius, 2026)

Die ermittelten Werte sind in Kapitel 4.1.1.4 und 4.2.1.4 aufgeführt.

3.4.5 Garverlust

Der Garverlust beschreibt den Masseverlust der Proben während des Garvorgangs. Dieser Wert gibt Aufschluss darüber, wie viel Flüssigkeit während der Zubereitung des Lebensmittels unabhängig der Restfeuchte oder des a_w-Wertes verloren geht. Dieser Wert betrachtet sowohl die Verdunstung von Wasser als auch das Austreten von Fett während des Garens.

Gemessen wird dieser Wert, indem jede Probe vor und nach dem Garen gewogen wird. Die entsprechende Differenz beschreibt den Garverlust.

Die ermittelten Werte sind in Kapitel 4.2.1.5 aufgeführt.

3.4.6 Texturanalyse

Die Texturanalyse ist eine komplexe Methode zur Messung der Textur von verschiedenen Proben. In dieser Arbeit wird das Texturanalysegerät TA-XT2i genutzt. Die Texturanalyse gibt Aufschluss über die Festigkeit, Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit von Produkten und kann zum Beispiel die Scherwirkung von menschlichen Zähnen simulieren. Dadurch kann auch ohne menschliche Sensorik die Textur eines Lebensmittels bewertet werden.

Für die Texturanalyse wird zusätzlich zum Analysator die Software „Exponent“ von Stable Micro Systems Ltd. verwendet, um die gemessenen Daten aufzuzeichnen, graphisch darzustellen und auszuwerten. In diesem Programm wird eine Projektdatei, welche auf die Analyse von Würsten spezialisiert ist, entworfen und ausgeführt. Genaue Parameter dieser Datei können im Anhang eingesehen werden.

Für diese Messung werden ganze Bratwürste als Proben verwendet, welche vollständig durchgegart und auf Zimmertemperatur abgekühlt sind. Die Proben werden so in die Aufnahme gelegt, dass die eingespannte „Warner-Bratzler-Klinge“ diese in der Mitte zerteilt. Nachdem die Messung gestartet wird, fährt die Klinge langsam durch die Probe und misst dabei die zum Durchdringen benötigte Kraft. Simultan wird ein Graph erstellt, welcher diese im Verlauf der Messzeit veranschaulicht. Für jede Probe werden drei Versuche durchgeführt. Diese Messmethode wird ausschließlich im Hauptversuch angewendet.

Die ermittelten Werte und Diagramme können in Kapitel 4.2.1.6 eingesehen werden.

3.4.7 Kerntemperatur

Während des Garvorgangs wird die Kerntemperatur der Bratwürste ermittelt, um zu gewährleisten, dass die Produkte vollständig durchgegart und für den Verzehr gesundheitlich unbedenklich sind. Hierfür wird eine Temperatur von 75 °C über einen Zeitraum von mindestens zwei Minuten gewählt, um pathogene Mikroorganismen abzutöten und die Unbedenklichkeit des Produktes für den Verzehr zu gewährleisten.

3.5 Auswahl der sensorischen Prüfmethode

Um die entwickelten und hergestellten Lupinenbratwürste auf die Akzeptanz von potenziellen Konsumenten zu testen und einen tiefen Einblick in die Geschmacksprofile der verschiedenen Proben zu bekommen, wird eine sensorische Untersuchung für alle Proben beider Versuche durchgeführt. Dafür wird die DIN 10964/2014 als Grundlage genutzt. Zur sensorischen Untersuchung der Lupinenbratwürste wird eine einfach beschreibende Prüfung durchgeführt, da diese Methode eine strukturierte und nachvollziehbare Erfassung sensorischer Merkmale mehrerer Prüfproben ermöglicht. Das Ziel dabei ist, Unterschiede zwischen den verschiedenen Rezepturen systematisch zu beschreiben und diese anschließend im Hinblick auf ihre Beliebtheit zu bewerten. Die einfach beschreibende Prüfung eignet sich hierfür besonders, da sie die Beschreibung relevanter sensorischer Eigenschaften wie Aussehen, Geruch, Geschmack, Textur und Mundgefühl erlaubt, ohne dass eine komplexe Profilprüfung mit intensiv geschultem Panel durchgeführt werden muss.

Durch die standardisierte Vorbereitung, Verschlüsselung und Darreichung der Prüfproben wird sichergestellt, dass alle Proben unter vergleichbaren Bedingungen beurteilt werden und mögliche Beeinflussungen der Prüfpersonen minimiert werden. Die Verwendung einheitlicher Probenmengen und -temperaturen trägt zusätzlich zur Objektivität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei.

Die strukturierte Erfassung beschreibender Merkmale ermöglicht es, produktspezifische Eigenschaften der Rezepturen differenziert darzustellen und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den einzelnen Proben herauszuarbeiten. Auf dieser Grundlage kann im Anschluss eine Bewertung der Proben nach Beliebtheit erfolgen, wodurch ein Zusammenhang zwischen objektiv beschriebenen sensorischen Eigenschaften und der subjektiven Akzeptanz hergestellt wird. Die gewählte Prüfmethode stellt somit eine Vorgehensweise dar, mit der sowohl sensorische Unterschiede als auch die Verbraucherpräferenz der untersuchten Proben erfasst werden kann. (Deutsches Institut für Normung e. V., 2014)

Zur Erhebung der Gesamtbeliebtheit wird eine neun-stufige hedonische Skala eingesetzt. Diese stellt in der quantitativen Verbraucherforschung den am häufigsten verwendeten Skalentyp dar und ist methodisch für Akzeptanztests etabliert. Im Vergleich zu fünf- oder sieben-stufigen Skalen ermöglicht die neun-Punkte-Skala eine feinere Differenzierung der Verbraucherurteile. Eine Reduktion der Skalenstufen geht mit einem Informationsverlust und einer geringeren Aussagekraft einher. Darüber hinaus erlaubt die Skala deskriptive Auswertungen. (DLG, 2011)

3.6 Durchführung der Sensorik

Die detaillierte sensorische Untersuchung nach DIN 10964/2014 läuft wie folgt ab. Die Proben der entsprechenden Lupinenbratwürste werden vollständig durchgegart und in mundgerechte Stücke zerteilt. Die Endstücke werden nicht für die Sensorik verwendet, sondern für anschließende Laboruntersuchungen aufbewahrt. Dargereicht werden die Proben in Probenbehältern aus Kunststoff. Diese Probenbehälter werden mit einem randomisierten Zahlencode aus drei Ziffern versehen. Jede Probe besitzt somit einen individuellen Code, welchen nur der Prüfungsleiter dem tatsächlichen Prüfgut zuordnen kann. Jeder Panelist bekommt zur Durchführung der Sensorik die Probenbehälter mit Prüfgütern, einen Prüfbogen, eine Snackgabel, einen Kugelschreiber und einen Becher mit Trinkwasser zum Neutralisieren zugeteilt. Die Prüfbögen beinhalten eine Tabelle, in der jede Spalte für ein Prüfgut und jede Zeile für eine sensorische Eigenschaft vorgesehen ist. Die Panelisten haben nun die Aufgabe, die Proben auf ihre sensorischen Eigenschaften zu untersuchen und die Ergebnisse anhand von Attributen in die jeweiligen Felder zu schreiben. Die Zeile mit der Bezeichnung „Beliebtheit“ soll genutzt werden, um das Prüfgut hedonisch auf einer Skala von eins bis neun zu bewerten. Im Hauptversuch ist eine zusätzliche Zeile zu sehen, in welcher die Einordnung von eins bis sechs eingetragen werden soll. Hier sollen die Panelisten schätzen, welche Reihenfolge die Proben anhand der wahrgenommenen Lupinenmenge beinhalten. Das Panel besteht ausschließlich aus Studierenden, welche bereits Erfahrungen im Bereich der Sensorik im Rahmen des Studiums gesammelt haben. Die daraus erhobenen Ergebnisse sind für den Vorversuch in Kapitel 4.1.2 und für den Hauptversuch in Kapitel 4.2.2 dargestellt. Die Prüfbögen für den Vor- und Hauptversuch können im Anhang in den Abbildungen 20 bis 22 eingesehen werden.

3.7 Statistische Auswertung der Sensorik

Für die Auswertung der Sensorik wird für die Beliebtheiten beider Versuche ein Friedman-Test durchgeführt, der statistisch darstellt, ob die Proben einen signifikanten Unterschied aufweisen. Wenn signifikante Unterschiede zwischen den Proben bestehen, wird ein post-hoc-Test durchgeführt. Der post-hoc-Test wird angewendet, wenn im Friedman-Test ein Wert $p<0,05$ erreicht wird, da ein Wert kleiner als 0,05 die Unterschiede als signifikant einstuft. Dieser zusätzliche Test erlaubt daraufhin ein genaueres Betrachten der Unterschiede zwischen den einzelnen Proben. (DLG, 2011)

Die Auswertungen werden mithilfe des open-source-Programms „JASP“ durchgeführt.

Ergänzend werden die Mittelwerte und die entsprechenden Standardabweichungen der Beliebtheiten tabellarisch aufgeführt und ausgewertet.

3.8 Ernährungsphysiologische Berechnungen

Um die ernährungsphysiologische Bedeutung der entwickelten Bratwurst darzustellen, werden folgende Berechnungen durchgeführt:

- PDCAAS
- Nährwertberechnung

Der PDCAAS wird berechnet, indem zuerst von jeder Zutat die eingesetzte Menge in Gramm und der Proteingehalt in Prozent ermittelt wird. Daraus wird die Proteinmenge durch die Multiplikation der eingesetzten Masse mit dem Proteingehalt der entsprechenden Zutat berechnet. Addiert man alle Proteinmengen, so erhält man das Gesamtprotein. Daraufhin muss bestimmt werden, wie stark jede Zutat zum Gesamtprotein beiträgt, wodurch die entsprechenden Anteile berechnet werden. Dafür wird die Proteinmenge der einzelnen Zutaten durch das Gesamtprotein dividiert. Im nächsten Schritt müssen die essenziellen Aminosäuren jeder Zutat in der Einheit mg/g ermittelt werden. Es wird aus jeder essenziellen Aminosäure einzeln ein gemischtes Aminosäureprofil berechnet. Mit diesem gemischten Aminosäureprofil wird nun der Aminosäure-Score des Produkts berechnet, indem die Aminosäuren durch die Referenzwerte dividiert werden. Der kleinste errechnete Score ist die limitierende Aminosäure und somit der Aminosäure-Score des Produkts. Daraufhin wird für jede Zutat die Verdaulichkeit einberechnet, um die wahre Verdaulichkeit des Gesamtprodukts zu erhalten. Multipliziert man diese mit der limitierenden Aminosäure beziehungsweise dem Aminosäure-Score, so erhält man den PDCAAS. Dieser kann maximal 1,0 betragen, bei welchem das Protein im Produkt vollständig verdaulich ist. (Elmadfa & Leitzmann, Ernährung des Menschen, 2023)

Die deklarierungspflichtigen Nährwerte werden rechnerisch aus den Nährwertangaben der eingesetzten Rohstoffe ermittelt. Hierzu werden die jeweiligen Gehalte pro 100 g Rohstoff auf die eingesetzten Massenanteile der Rezeptur bezogen und summiert. (Souci, Fachmann, & Kraut, 2024) Der Salzgehalt wird gemäß LMIV aus dem Natriumgehalt der Zutaten sowie dem zugesetzten Kochsalz berechnet. (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011)

Die berechneten Werte können in Kapitel 4.3 eingesehen werden.

4 Ergebnisse

Tabelle 1: Grundrezeptur der entwickelten Lupinenbratwurst für 1000 g (Eigene Darstellung)

Zutat	**Menge [g]**
Schweinefleisch S2	583,09
Schweinebauch S4	388,73
Lupinenkerne (gekocht)	0,00
Salz	16,52
Pfeffer	2,92
Majoran	4,86
Macis	0,97
Muskat	0,97
Zitronenabrieb	0,97
Ingwer	0,97

Tabelle 1 zeigt die Grundrezeptur der entwickelten Lupinenbratwurst, mit welcher in Microsoft Excel die entsprechenden Mengen berechnet werden. In die Felder der Menge der Lupinenkerne, des Schweinefleisches und des Schweinebauches ist im Kalkulationsprogramm eine Formel hinterlegt, welche die gewünschte prozentuale Menge der Lupinenkerne von der Schweinefleisch- und Schweinebauchmenge abzieht, wobei das Verhältnis von Schweinefleisch zu Schweinebauch konstant bleibt. Die prozentuale Angabe der Lupinenkerne bezieht sich auf die Gesamtmasse der Bratwurstmischung. Somit können die benötigten Mengen der weiteren Versuche berechnet werden.

4.1 Ergebnisse des Vorversuchs

Für den Vorversuch, welcher darauf abzielt, die am besten geeignete Zerkleinerungsgröße der Lupinenkerne zu ermitteln, werden die vier folgenden Zerkleinerungsarten gewählt:

Die gröbste Zerkleinerung (Probe 1) wird mit Hilfe des Fleischwolfes bewerkstelligt. Die zuvor eingeweichten und gekochten Lupinenkerne werden in den Fleischwolf gegeben, welcher die gleichen Einsätze beinhaltet, die auch zur Zerkleinerung der Fleischanteile verwendet werden. Daraus entsteht eine grobkörnige Lupinenkernmasse.

Die zwei mittleren Zerkleinerungsgrade werden mit dem „Thermomix“ auf voller Laufleistung in zwei unterschiedlichen Zeiteinheiten hergestellt. Dabei wird die gröbere Variante für 30 Sekunden (Probe 2) und die feinere Variante für eine Minute (Probe 3) zerkleinert.

Für den feinsten Zerkleinerungsgrad wird Süßlupinenkernmehl verwendet (Probe 4).

Tabelle 2: Rezeptur angepasst an 20 % Lupinen für 1000 g (Eigene Darstellung)

Zutat	**Menge [g]**
Schweinefleisch S2	463,09
Schweinebauch S4	308,73
Lupinenkerne (gekocht)	200,00

Die Tabelle 2 zeigt die Mengen, welche für den Vorversuch verwendet werden, angepasst an die Lupinenmenge von 20 %.

Abbildung 1: Brät der verschiedenen Zerkleinerungsvarianten; von links nach rechts, oben Probe 1 und 3, unten Probe 2 und 4 (Quelle: Wedtrat F., 21.01.2026)

4.1.1 Laboranalytik

4.1.1.1 Farbmessung

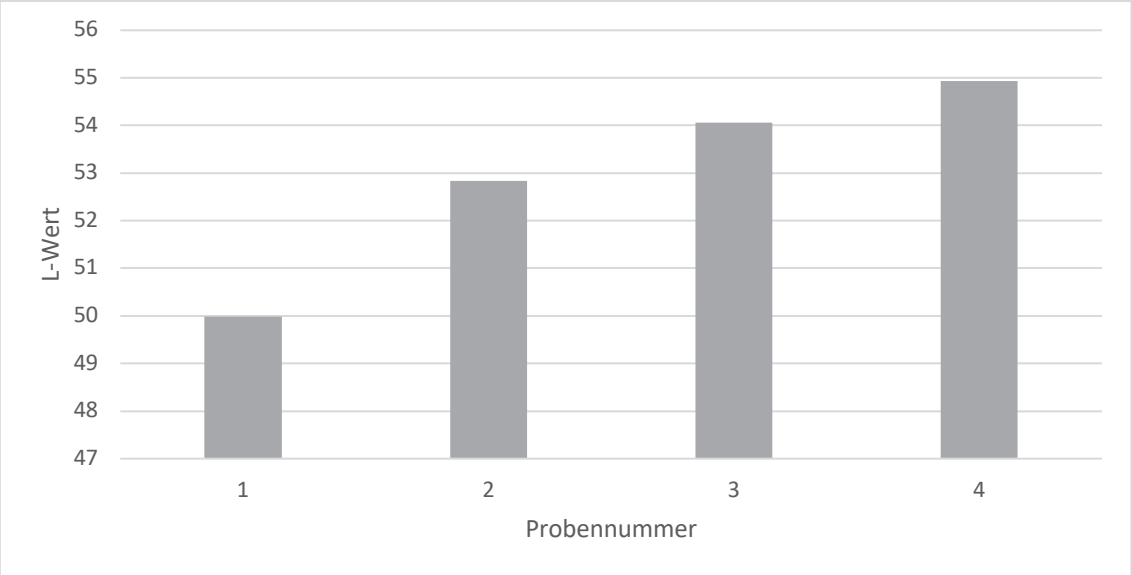


Abbildung 2: Diagramm der L-Werte der Farbmessung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

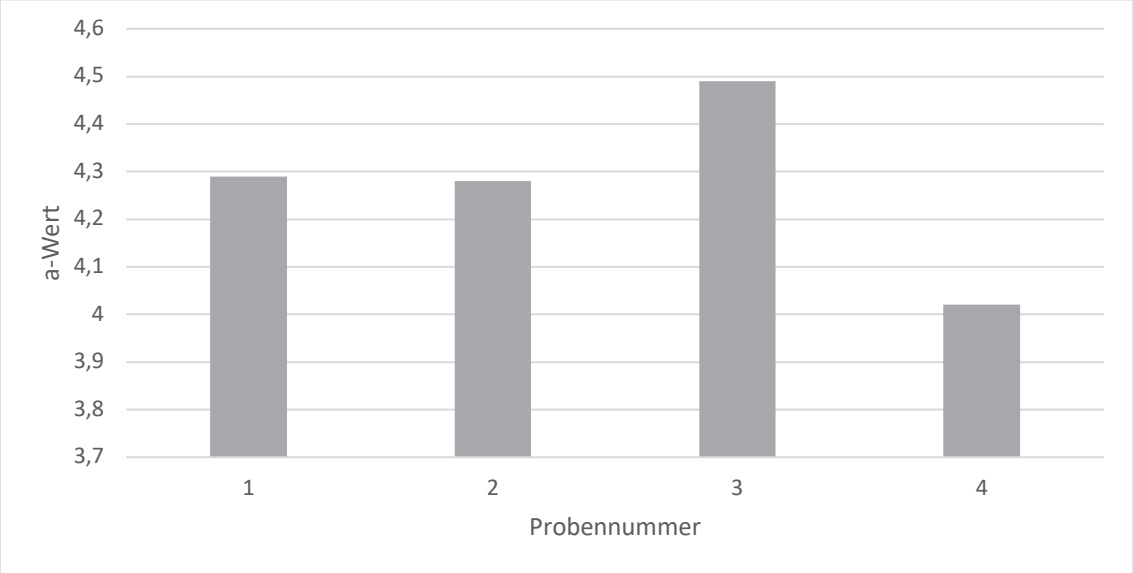


Abbildung 3: Diagramm der a-Werte der Farbmessung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

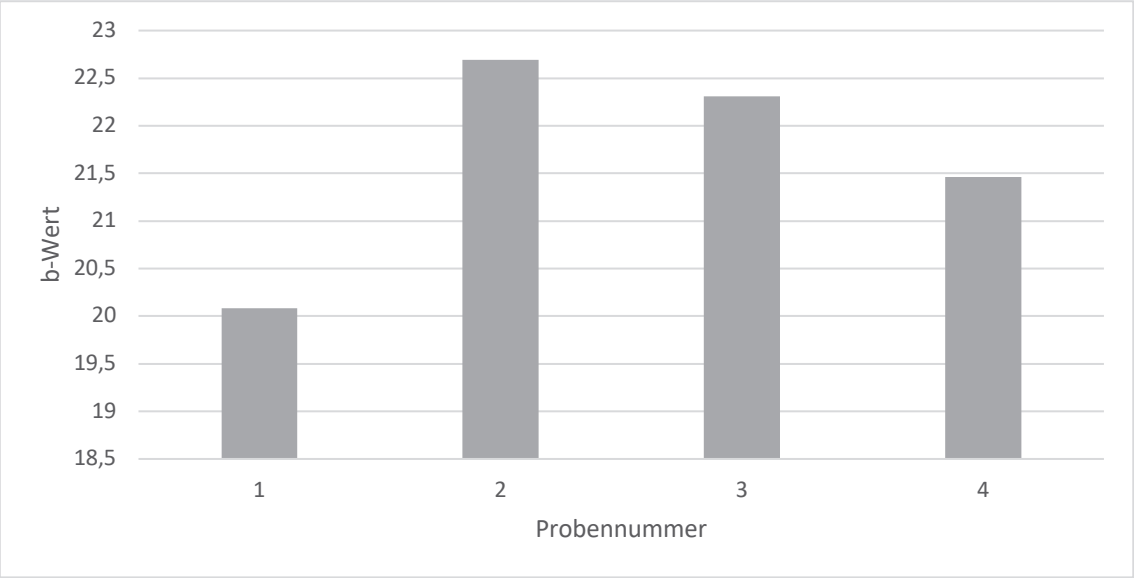


Abbildung 4: Diagramm der b-Werte der Farbmessung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 3: Ergebnisse der Farbmessung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**L**	**a**	**b**
1	49,99	4,29	20,08
2	52,84	4,28	22,69
3	54,06	4,49	22,31
4	54,93	4,02	21,46

Die Farbmessung der Bratwurstproben aus dem Vorversuch zeigt Unterschiede in Abhängigkeit von der eingesetzten Zerkleinerungsart der Lupinenkerne. Die Probe 1 weist mit einem L-Wert von etwa 50 die geringste Helligkeit auf, während mit zunehmender Feinheit der Zerkleinerung höhere L-Werte gemessen werden. Die höchste Helligkeit zeigt die Probe 4 mit rund 55. Auch die a-Werte variieren zwischen den Proben. Die mit dem „Thermomix“ für 60 Sekunden zerkleinerte Probe zeigt den höchsten a-Wert, während die Mehlvariante den niedrigsten Wert aufweist. Für den b-Wert ergeben sich ebenfalls Unterschiede zwischen den Zerkleinerungsstufen. Die Proben 2 und 3 weisen höhere b-Werte auf als die grob zerkleinerte Probe aus dem Fleischwolf sowie die Mehlvariante. Insgesamt deutet dies darauf hin, dass der Zerkleinerungsgrad der Lupinenkerne einen geringen Einfluss auf die Farbausprägung der Bratwürste hat.

4.1.1.2 Wasseraktivität

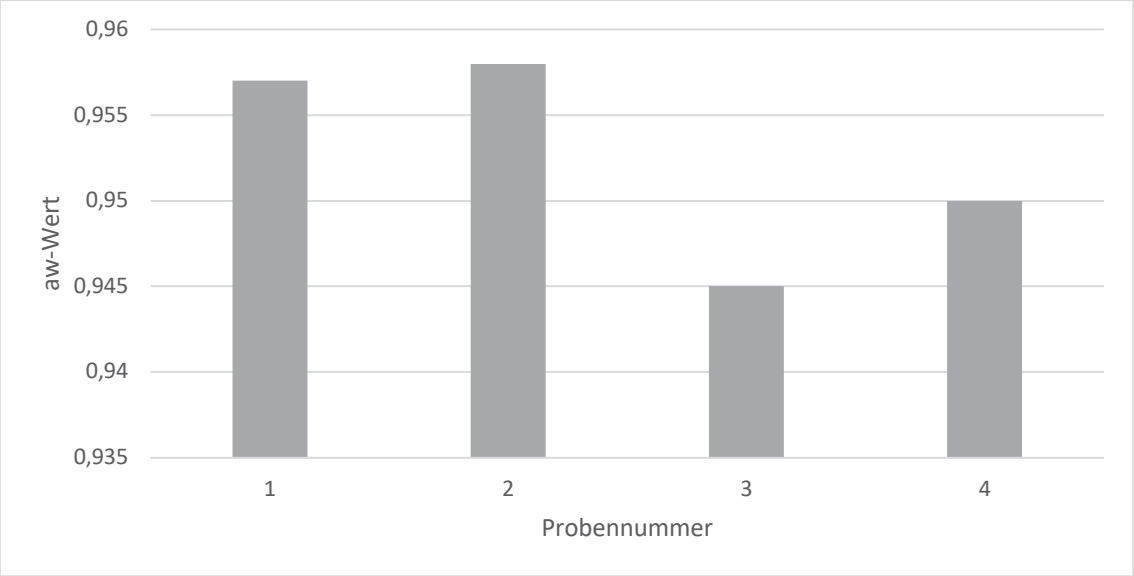


Abbildung 5: Diagramm der Wasseraktivitätswerte im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 4: Ergebnisse der Wasseraktivitätsmessung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**a_w-Wert**
1	0,957
2	0,958
3	0,945
4	0,950

Die Messung der Wasseraktivität der Bratwurstproben aus dem Vorversuch zeigt nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Zerkleinerungsstufen der Lupinenkerne. Die Proben 1 und 2 weisen mit 0,957 und 0,958 die höchsten a_w-Werte auf. Die Probe 3 zeigt mit 0,945 den niedrigsten Wert, während Probe 4 mit 0,950 dazwischen liegt. Insgesamt bewegen sich alle a_w-Werte auf einem ähnlichen Niveau, sodass kein starker Einfluss der Zerkleinerungsart auf die Wasseraktivität erkennbar ist.

4.1.1.3 pH-Werte

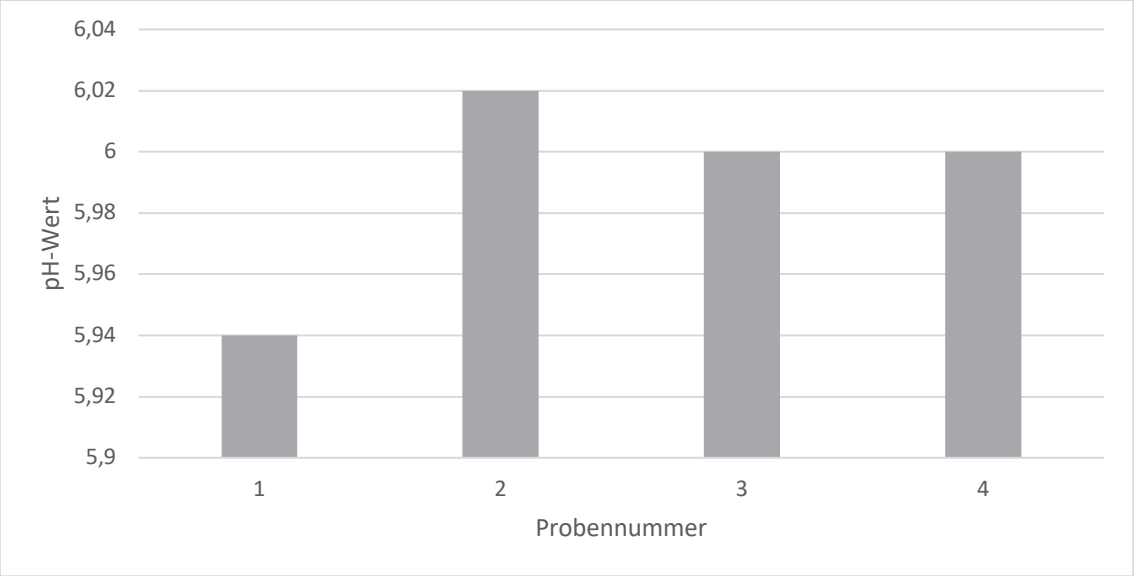


Abbildung 6: Diagramm der pH-Werte im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 5: Ergebnisse der pH-Messung im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**pH-Wert**
1	5,94
2	6,02
3	6,00
4	6,00

Die pH-Werte der Bratwurstproben aus dem Vorversuch liegen in einem Bereich zwischen 5,94 und 6,02 und zeigen damit nur geringe Unterschiede. Der niedrigste pH-Wert liegt bei Probe 1, während Probe 2 den höchsten Wert aufzeigt. Die Proben 3 und 4 liegen mit einem Wert von 6,00 dazwischen.

4.1.1.4 Trockenmasse und Restfeuchte

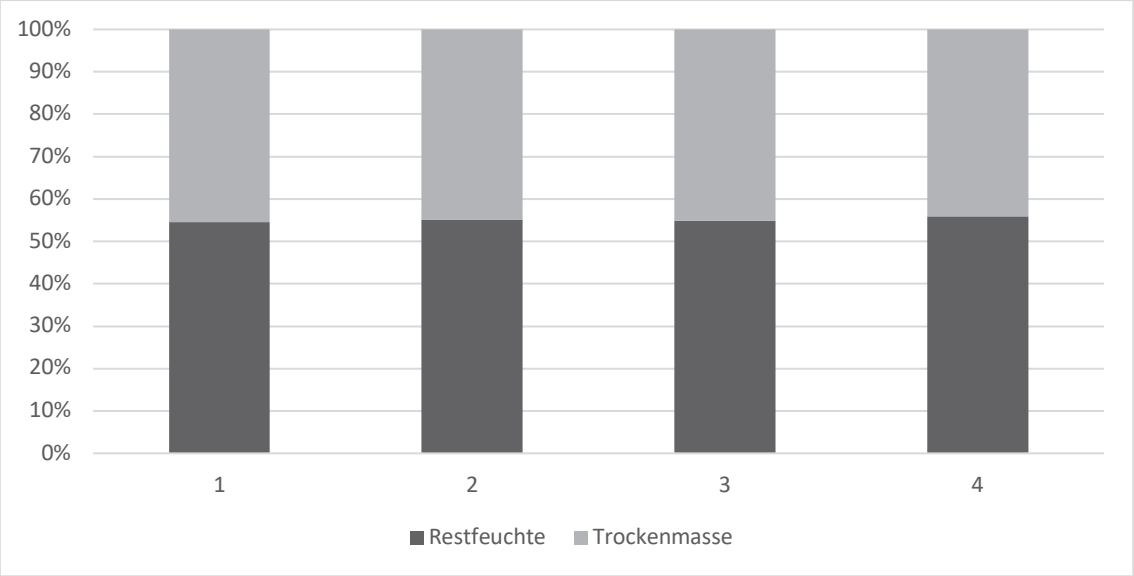


Abbildung 7: Diagramm der Trockenmasse und Restfeuchte im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 6: Ergebnisse der Trockenmasse und Restfeuchte im Vorversuch (Eigene Darstellung)

Probe	Trockenmasse [%]	Restfeuchte [%]
1	45,50	54,50
2	44,79	55,21
3	45,08	54,92
4	44,17	55,83

Die Bestimmung von Trockenmasse und Restfeuchte ergibt für alle Proben ähnliche Werte. Zwischen den Zerkleinerungsstufen der Lupinenkerne können keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden. Die Restfeuchte liegt bei allen Proben bei ungefähr 55 Prozent, während die Trockenmasse bei rund 45 Prozent liegt.

Da für den Vorversuch zum einen die getrockneten Süßlupinenkerne und zum anderen ein Lupinenmehl eines anderen Herstellers verwendet wird, muss ermittelt werden, inwiefern der Unterschied der jeweiligen Restfeuchte der Produkte ausfällt. Um sicherzustellen, dass die gleiche Wassermenge in das Endprodukt eingebracht wird, werden die Restfeuchte und die Trockenmassen beider Zutaten ermittelt, um im Nachhinein die Wassermenge im Produkt auszugleichen.

Tabelle 7: Trockenmasse und Restfeuchte von Lupinenkernen und -mehl (Eigene Darstellung)

Probe	**Trockenmasse [%]**	**Restfeuchte [%]**
Lupinenkerne	90,79	9,21
Lupinenmehl	92,51	7,49

Ausgangspunkt ist eine Probe aus 400 g getrockneten Lupinenkernen, die nach dem Kochen eine Endmasse von 985 g aufweist. Der Trockenmasseanteil beträgt 90,79 %. Damit ergibt sich eine Gesamttrockenmasse von:

$$TM_{Kerne} = 400\ g\ \times\ 0{,}9079 = 363{,}16\ g$$

Da beim Kochen ausschließlich Wasser aufgenommen wird, bleibt die Trockenmasse des gekochten Produkts unverändert. Der Wasseranteil des gekochten Produkts lässt sich somit aus der Differenz zwischen Endmasse und Trockenmasse bestimmen:

$$m_{Wasser,gekocht} = 985\ g - 363{,}16\ g = 621{,}84\ g$$

Zur Übertragung auf andere Zielmengen wird ein Rehydrierfaktor bezogen auf die Trockenmasse definiert. Dieser entspricht dem Verhältnis der Produktmasse nach dem Kochen zur enthaltenen Trockenmasse:

$$F = \frac{m_{gekocht}}{TM_{Kerne}} = \frac{985}{363{,}16} = 2{,}712$$

Der berechnete Faktor bedeutet, dass 1 g getrocknete Lupinenkerne im gekochten Zustand 2,712 g Produktmasse entspricht. Für eine Zielmenge von 150 g rehydriertem Produkt ergibt sich daraus die enthaltene Trockenmasse zu:

$$TM_{Ziel} = \frac{150\ g}{2{,}712} = 55{,}32\ g$$

Diese Trockenmasse soll nun durch Lupinenmehl bereitgestellt werden. Das eingesetzte Mehl weist eine Restfeuchte von 7,49 % auf, entsprechend einem Trockenmasseanteil von 92,51 %. Die erforderliche Mehlmasse zur Bereitstellung von 55,32 g Trockenmasse berechnet sich damit zu:

$$m_{Mehl} = \frac{TM_{Ziel}}{0{,}9251} = \frac{55{,}32\ g}{0{,}9251} = 59{,}8\ g$$

Die zur Rehydrierung benötigte Wassermenge ergibt sich aus der Differenz zwischen gewünschter Endmasse und berechneter Mehlmasse:

$$m_{Wasser} = 150\ g - 59{,}8\ g = 90{,}2\ g$$

Somit müssen zur Herstellung von 150 g rehydriertem Lupinenmehl **59,8 g Lupinenmehl** mit **90,2 g Wasser** vermischt werden.

4.1.1.5 Garverlust

Im Vorversuch wird der Garverlust nicht erfasst. Die Auswertung des Garverlustes erfolgt daher ausschließlich für den Hauptversuch.

4.1.1.6 Texturanalyse

Im Vorversuch wird die Texturanalyse nicht durchgeführt. Die Auswertung der Texturanalyse erfolgt daher ausschließlich für den Hauptversuch.

4.1.2 Sensorik

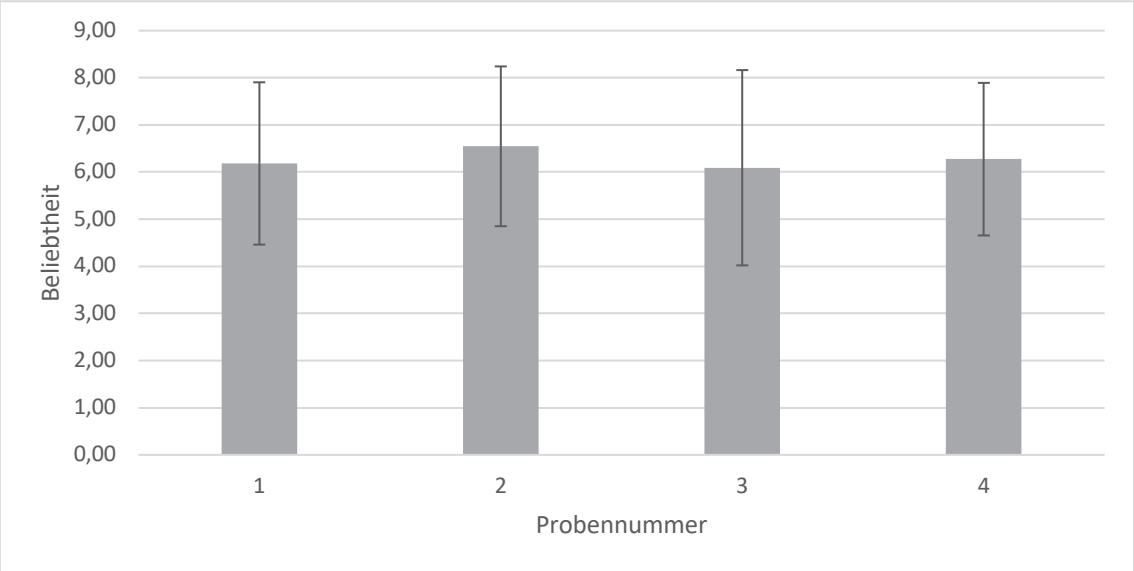


Abbildung 8: Diagramm der Beliebtheitswerte des Vorversuches (Eigene Darstellung)

Im Vorversuch werden vier Varianten mit unterschiedlichen Zerkleinerungsgraden der Süßlupinenkerne sensorisch bewertet.

Die Mittelwerte der Gesamtbewertung liegen in einem Bereich zwischen 6,09 und 6,55 Punkten, wie in Abbildung 7 zu sehen ist. Probe 2 erreicht mit 6,55 Punkten den höchsten Mittelwert. Es folgen Probe 4 mit 6,27 Punkten sowie Probe 1 mit 6,18 Punkten. Mit 6,09 Punkten erzielt Probe 3 den niedrigsten Mittelwert. Die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Mittelwert beträgt 0,46 Skalenpunkte. Die meisten Attribute fallen auf die Kategorien Geschmack und Textur, gefolgt von Geruch, Farbe und Form.

Der Friedman-Test ergibt einen p-Wert von 0,905, ein χ^2 von 0,564 und ein Kendall´s W von 0,017.

Die Farbe der Probe 1 wird überwiegend als „gelb“ und „braun“ beschrieben, ergänzt durch „grün“, „dunkel“, „grau“, „hell“ und „beige“. Die Form wird vor allem mit „grob“, „zylindrisch“ und „stückig“ charakterisiert. Im Geruch treten insbesondere „würzig“, „arttypisch“, „pflanzlich“, „fleischig“ und „Röstaromen“ auf. Geschmacklich wurde die Probe

häufig als „fleischig“, „würzig“, „scharf“ und „salzig“ beschrieben. Die Textur wurde überwiegend mit „grob“, „krümelig“ und „trocken“ charakterisiert.

Bei Probe 2 überwiegen in der Farbbeschreibung „gelb“ und „braun“, ergänzt durch „grün“, „grau“, „dunkel“, „beige“, „hell“ und „gold“. Die Form wird mit „grob“, „zylindrisch“ und „fein“ beschrieben. Im Geruch treten besonders häufig „arttypisch“, „Röstaromen“, „würzig“ und „fleischig“ auf. Geschmacklich dominieren „würzig“, „fleischig“ und „salzig“. Die Textur wird vor allem als „trocken“, „krümelig“ und „grob“ beschrieben.

Die Farbbeschreibung der Probe 3 umfasst überwiegend „braun“ und „gelb“, ergänzt durch „grün“, „beige“, „grau“, „dunkel“, „hell“ und „gold“. Die Form wird als „grob“, „zylindrisch“ und „fein“ beschrieben. Im Geruch treten „würzig“, „arttypisch“, „fleischig“ und „Röstaromen“ als Attribute auf. Geschmacklich wird besonders häufig „würzig“, „fleischig“, „scharf“ und „salzig“ genannt. Die Textur wird als „trocken“, „grob“ und „krümelig“ beschrieben.

Die Farbe der Probe 4 wird hauptsächlich als „braun“ und „gelb“ beschrieben. Diese Attribute werden ergänzt durch „grau“, „dunkel“, „beige“, „grün“ und „hell“. Die Form wird als „fein“, „zylindrisch“, „kompakt“ und „fest“ charakterisiert. Im Geruch treten besonders häufig „arttypisch“, „fleischig“, „würzig“ und „Röstaromen“ auf. Geschmacklich sind die Attribute „scharf“, „würzig“, „fleischig“ und „salzig“ vertreten. Die Textur wird mit „krümelig“, „trocken“ und „belegend“ beschrieben.

Im Vergleich der vier Zerkleinerungsarten zeigen sich Unterschiede in der Häufigkeit einzelner Attributnennungen. Grobstrukturierte Merkmale treten insbesondere bei Probe 1 sowie bei den Proben 2 und 3 wiederholt auf, während bei Probe 4 häufiger feinere Strukturmerkmale beschrieben werden. Die Nennung pflanzlicher, nussiger und erdiger Attribute variiert zwischen den Proben. Röstaromen werden bei allen Varianten erfasst, jedoch mit unterschiedlicher Häufigkeit. In Bezug auf die Textur werden alle Proben häufig durch Attribute wie „trocken“, „krümelig“ und „belegend“ charakterisiert, wobei zusätzliche texturbezogene Begriffe je nach Zerkleinerungsart ergänzt werden. Insgesamt sind alle untersuchten Varianten anhand der erfassten Attribute differenziert sensorisch beschrieben. Die Ergebnisse der beschreibenden sensorischen Prüfung zeigen ein umfangreiches Attribut-Spektrum und Unterschiede in der Attributverteilung zwischen den Proben.

4.2 Ergebnisse des Hauptversuchs

Für den Hauptversuch wird die am besten bewertete Zerkleinerungsgröße des Vorversuches für alle folgenden Varianten angewendet.

Im Hauptversuch wird untersucht, welche prozentuale Lupinenkernmenge am besten für eine Bratwurst geeignet ist. Dafür werden ebenfalls physikalisch-chemische Untersuchungen sowie eine sensorische Untersuchung durchgeführt.

Die verschiedenen Lupinenkernkonzentrationen in Bezug auf die Gesamtmasse sind folgende:

- 0 % (Probe 1)
- 10 % (Probe 2)
- 15 % (Probe 3)
- 20 % (Probe 4)
- 25 % (Probe 5)
- 30 % (Probe 6)

Abbildung 9: Brät der verschiedenen Konzentrationsvarianten; von links nach rechts, oben Probe 2, 4 und 6, unten Probe 1, 3 und 5 (Quelle: Wedtrat F., 27.01.2026)

Anhand dieser Konzentrationen werden daraufhin die Rezepturen der Proben für die Hauptversuchsreihe berechnet. Die Rezepturen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Gewürze werden in dieser Tabelle nicht betrachtet, da die Menge bei allen Rezepturen auf 1000 g festgelegt ist und nur das Verhältnis zwischen Lupinenkernen, Schweinefleisch und Schweinebauch variiert.

Tabelle 8: Rezepturanpassungen an prozentuale Lupinenanteile im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
SF (S2) [g]	583,09	523,09	493,09	463,09	433,09	403,09
SB (S4) [g]	388,73	548,73	328,73	308,73	288,73	268,73
LK [g]	0	100	150	200	250	300

4.2.1 Laboranalytik

4.2.1.1 Farbmessung

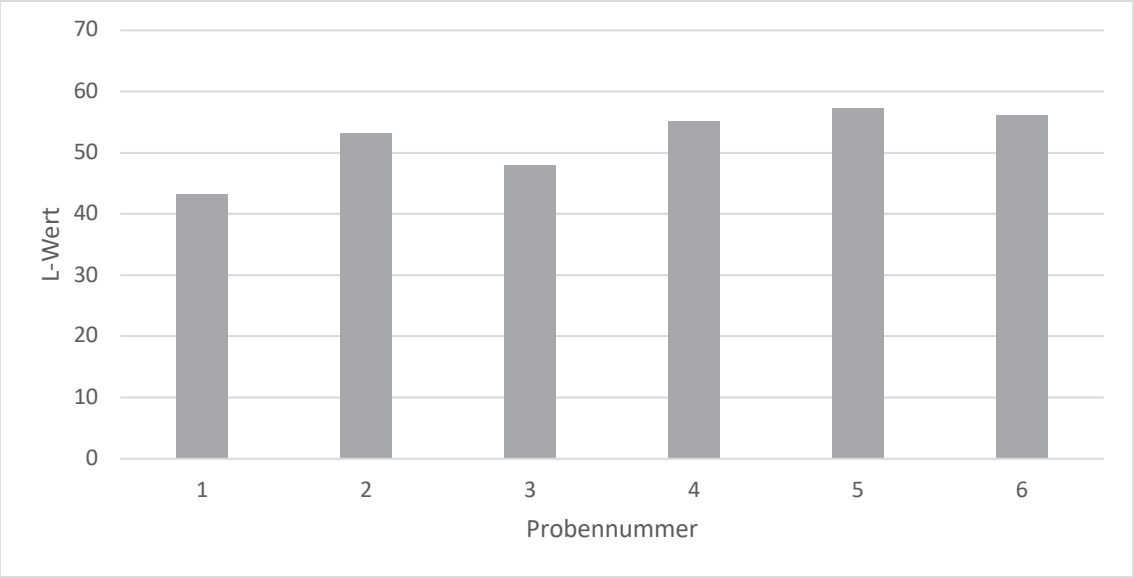


Abbildung 10: Diagramm der L-Werte der Farbmessung im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

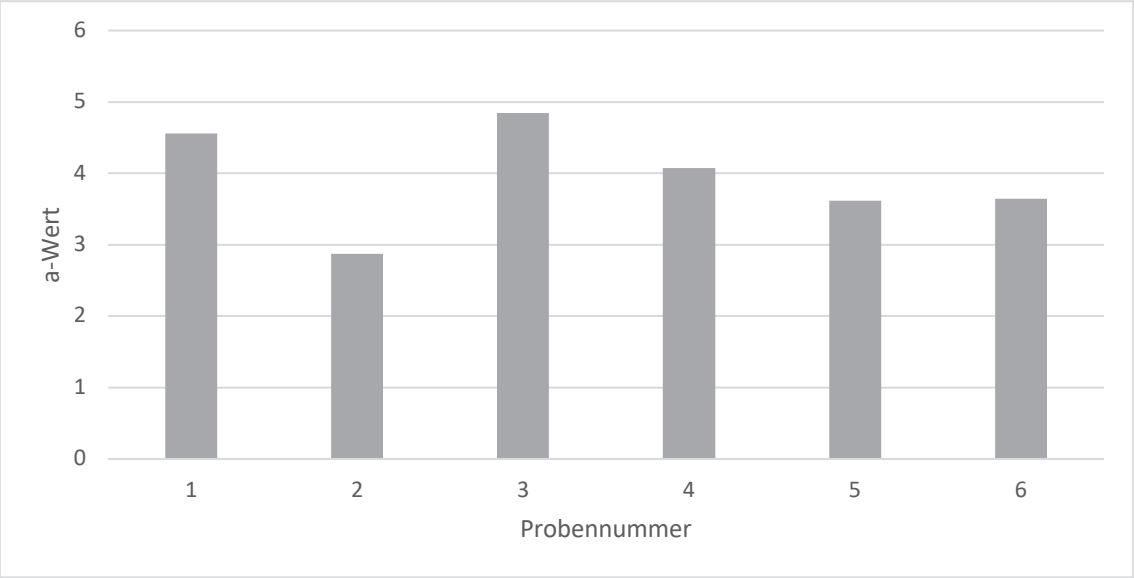


Abbildung 11: Diagramm der a-Werte der Farbmessung im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

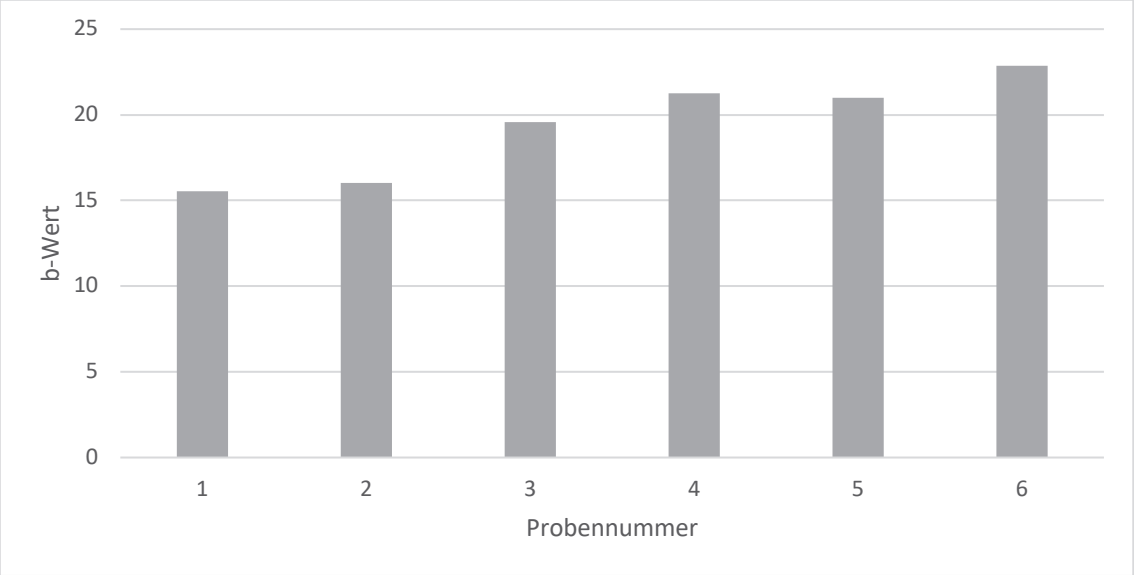


Abbildung 12: Diagramm der b-Werte der Farbmessung im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 9: Ergebnisse der Farbmessung im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**L**	**a**	**b**
1	43,28	4,56	15,55
2	53,11	2,87	16,01
3	47,88	4,85	19,58
4	55,18	4,07	21,24
5	57,26	3,62	21,01
6	56,14	3,64	22,85

Die Farbmessungen der Proben zeigen Unterschiede in Abhängigkeit der eingesetzten Lupinenkonzentration. Mit zunehmendem Anteil an Lupinenkernen in der Rezeptur steigen die L-Werte insgesamt leicht an, sodass die Proben mit höheren Lupinenanteilen eine höhere Helligkeit aufweisen als die Probe ohne Lupinenkerne. Die a-Werte variieren zwischen den einzelnen Proben ohne einen klar erkennbaren linearen Verlauf. Für den b-Wert zeigt sich hingegen eine Zunahme mit steigendem Lupinenanteil in der Probe. Proben mit höheren Konzentrationen an Lupinenkernen weisen insgesamt höhere b-Werte auf als die Referenzprobe. Insgesamt deutet das darauf hin, dass die Lupinenkonzentration die Helligkeit und den Gelbanteil der Bratwürste beeinflusst.

4.2.1.2 Wasseraktivität

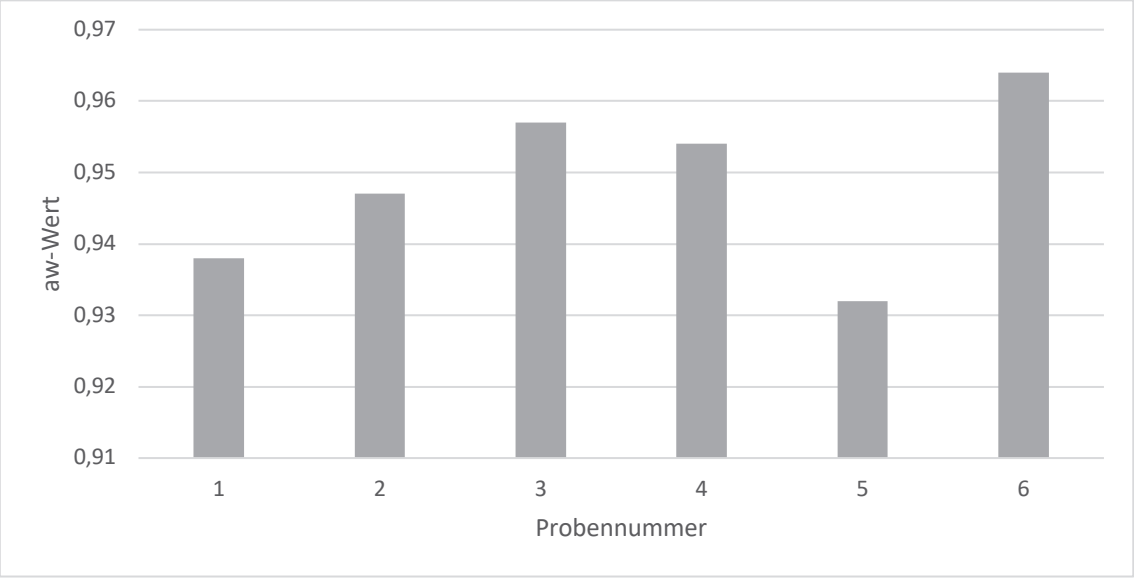


Abbildung 13: Diagramm der Wasseraktivitätswerte im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 10: Ergebnisse der Wasseraktivität im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**a_w-Wert**
1	0,938
2	0,947
3	0,957
4	0,954
5	0,932
6	0,964

Die Messungen der Wasseraktivität der Proben zeigen leichte Unterschiede zwischen den einzelnen Lupinenkernkonzentrationen. Die a_w-Werte bewegen sich in einem Bereich zwischen 0,932 und 0,964. Mit zunehmendem Anteil an Lupinen ist kein linearer Verlauf erkennbar. Während einzelne Proben mit steigender Konzentration höhere a_w-Werte zeigen, zeigen andere wiederum niedrigere Werte. Die höchste Wasseraktivität wird bei Probe 6 gemessen, während Probe 5, den niedrigsten a_w-Wert aufweist. Insgesamt liegen die Werte auf einem ähnlichen Niveau.

4.2.1.3 pH-Werte

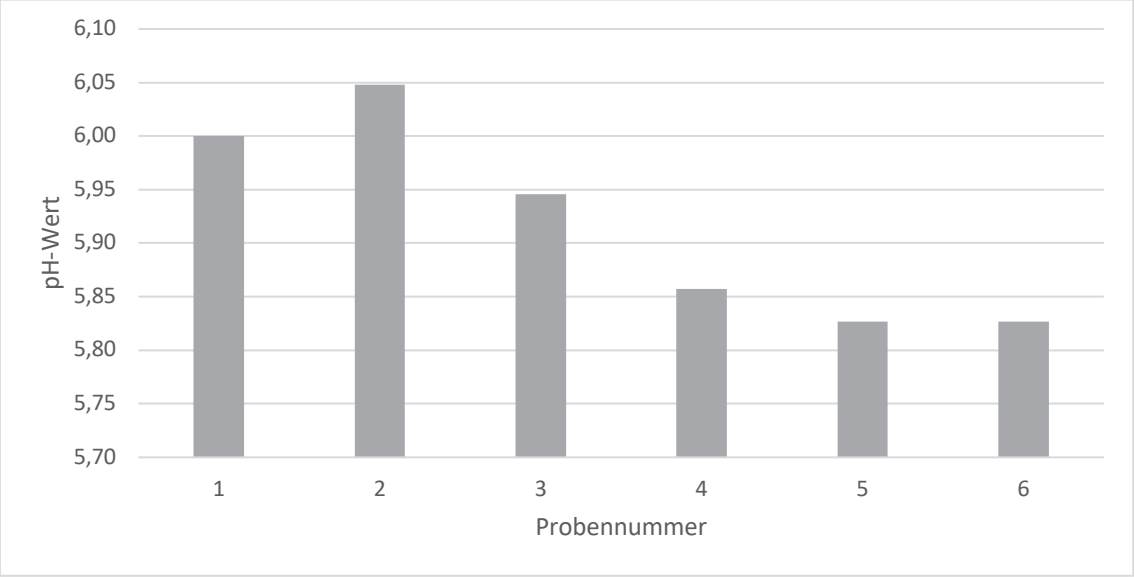


Abbildung 14: Diagramm der pH-Werte im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 11: Ergebnisse der pH-Werte im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Probe	**pH-Wert**
1	6,00
2	6,05
3	5,95
4	5,86
5	5,83
6	5,83

Die pH-Werte der Proben liegen in einem Bereich zwischen 5,83 und 6,05. Die höchsten Werte liegen bei den Proben mit niedriger Lupinenkonzentration vor, während mit zunehmendem Lupinenanteil der pH-Wert sinkt. Die Proben mit den höchsten Lupinenkonzentrationen weisen die geringsten pH-Werte auf. Insgesamt zeigt sich damit ein Zusammenhang zwischen steigender Lupinenzugabe und einer leichten Absenkung des pH-Wertes. Die Werte liegen jedoch insgesamt in einem sehr engen Bereich.

4.2.1.4 Trockenmasse und Restfeuchte

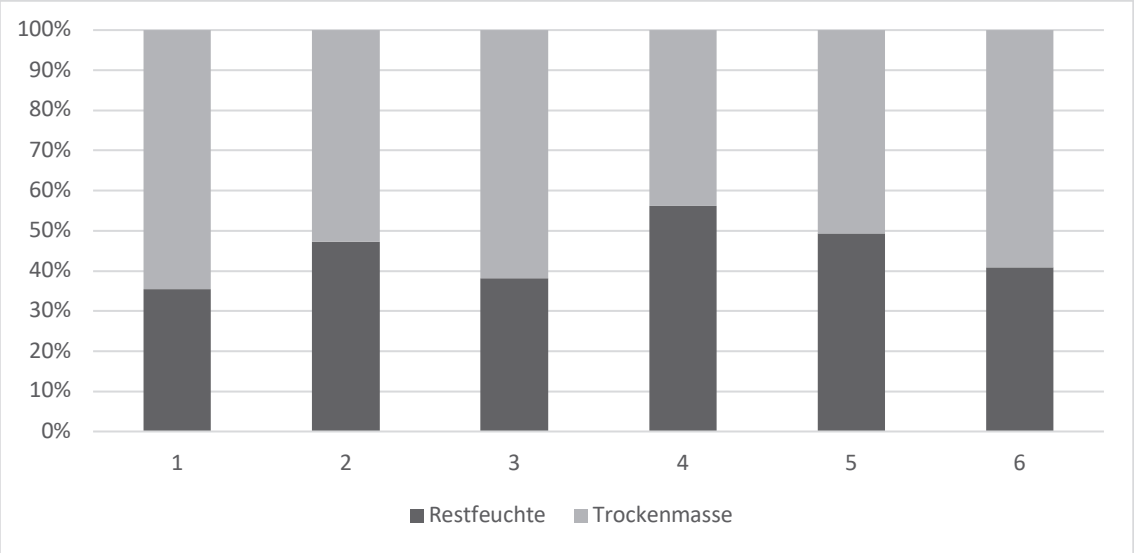


Abbildung 15: Diagramm der Trockenmasse und Restfeuchte im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 12: Ergebnisse der Trockenmasse und Restfeuchte im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Probe	Trockenmasse [%]	Restfeuchte [%]
1	64,60	35,40
2	52,66	47,34
3	61,75	38,25
4	43,78	56,22
5	50,59	49,41
6	59,10	40,90

Die Bestimmung von Trockenmasse und Restfeuchte der Bratwurstproben zeigt Unterschiede zwischen den Konzentrationen. Während einzelne Proben höhere Restfeuchtewerte aufweisen, liegen andere Proben mit zunehmender Lupinenzugabe auf einem geringeren Niveau. Ein durchgehend linearer Zusammenhang zwischen Lupinenanteil und Restfeuchte beziehungsweise Trockenmasse lässt sich nicht erkennen. Insgesamt bewegen sich die Werte in einem vergleichbaren Bereich, wobei sowohl Restfeuchte als auch Trockenmasse zwischen den Proben variieren, ohne dass eine eindeutige Abhängigkeit von der Lupinenkonzentration feststellbar ist.

4.2.1.5 Garverlust

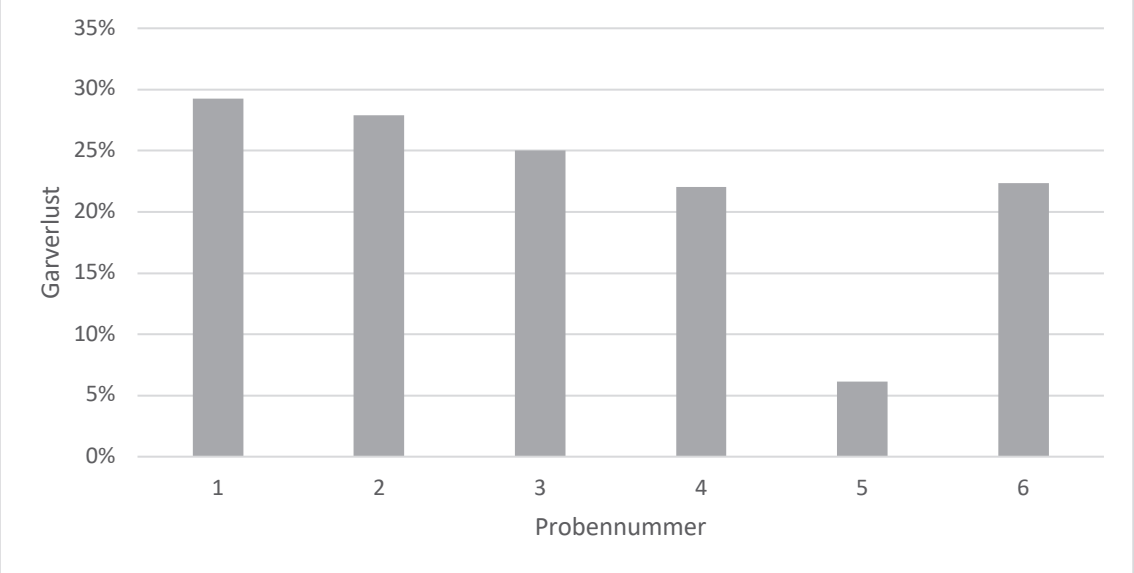


Abbildung 16: Diagramm des prozentualen Garverlustes im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Tabelle 13: Ergebnisse des Garverlustes im Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Probe	Masse vor Garen [g]	Masse nach Garen [g]	Differenz	In %
1	1148,8	812,6	336,2	29,27
2	1078,4	777,6	300,8	27,89
3	1204,3	902.8	301,5	25,04
4	1187,9	926,2	261,7	22,03
5	1095,0	1028,0	67,0	6,12
6	1059,5	822,6	236,9	22,36

Mit zunehmendem Lupinenanteil zeigen die Proben unterschiedliche Garverluste. Die höchsten Garverluste treten bei den Proben 1 und 2 auf. Bei Probe 3 und 4 liegen die Werte mit 25,04 % und 22,03 % etwas niedriger. Probe 5 mit weist mit 6,12 % einen deutlich geringeren Garverlust auf und unterscheidet sich damit klar von den übrigen Proben. Bei 30 % Lupinenanteil steigt der Verlust wieder an und liegt bei 22,36 %. Aus diesen Ergebnissen ist erkennbar, dass die Verluste zwischen den Proben variieren und kein durchgehend linearer Zusammenhang zwischen Lupinenanteil und Garverlust erkennbar ist. Besonders auffällig ist der stark reduzierte Garverlust bei Probe 5 im Vergleich zu den übrigen Rezepturen.

4.2.1.6 Texturanalyse

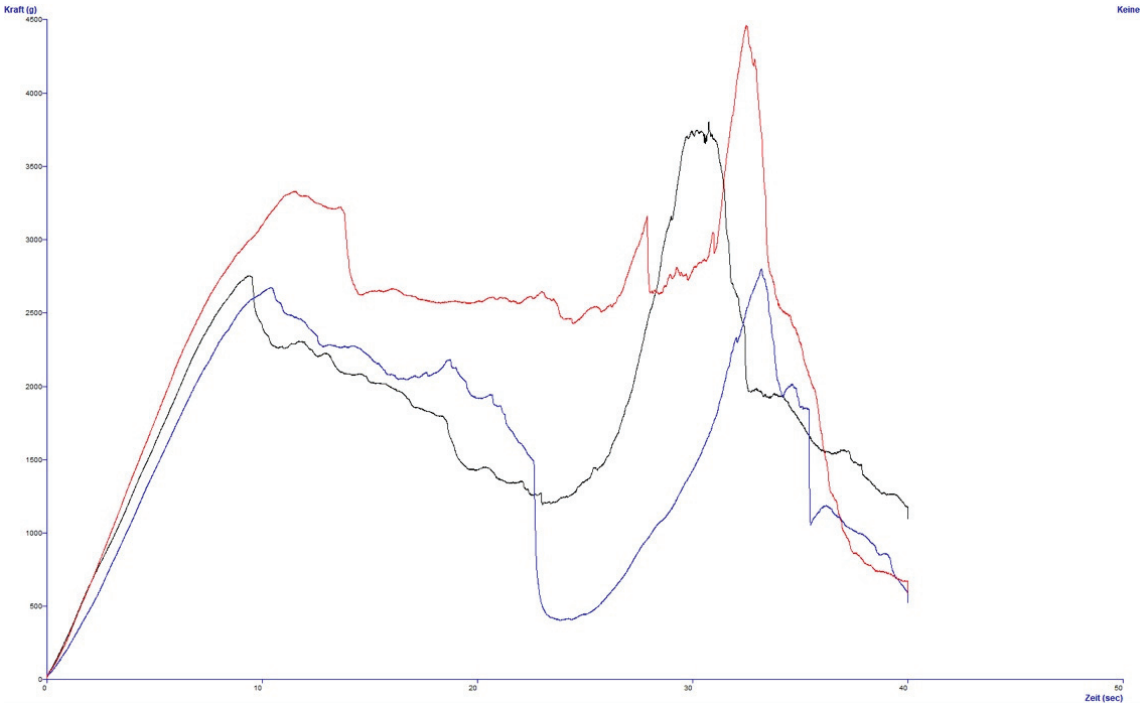


Abbildung 17: Texturanalyse-Diagramm Probe 1 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

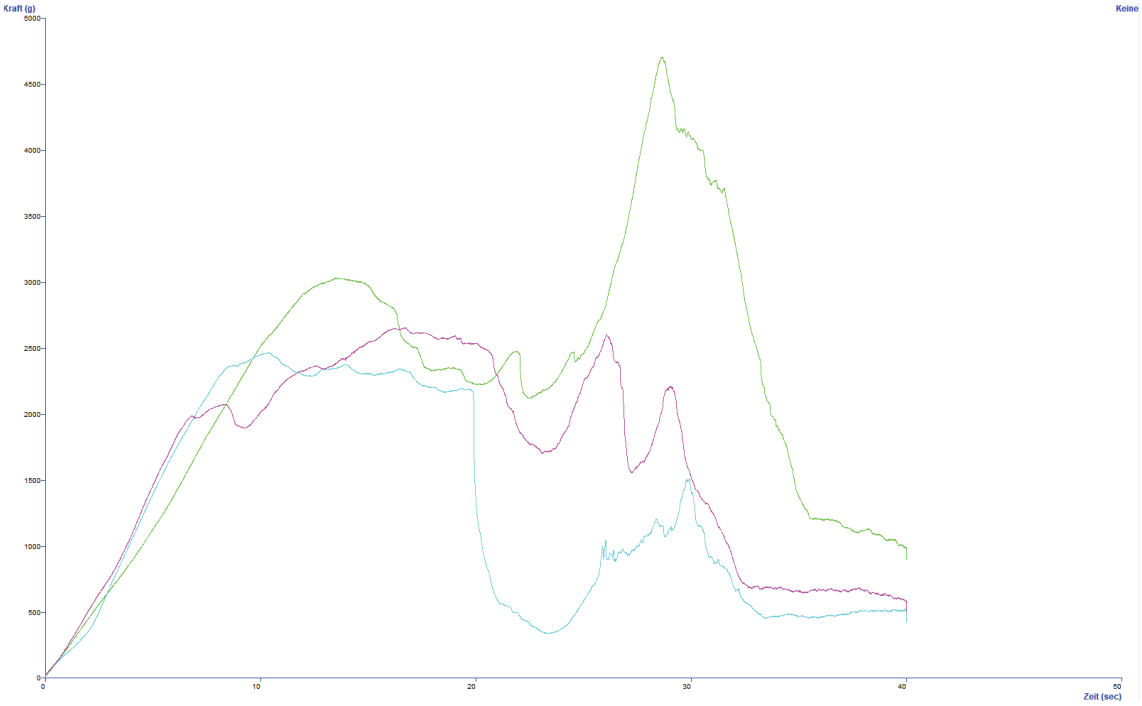


Abbildung 18: Texturanalyse-Diagramm Probe 2 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

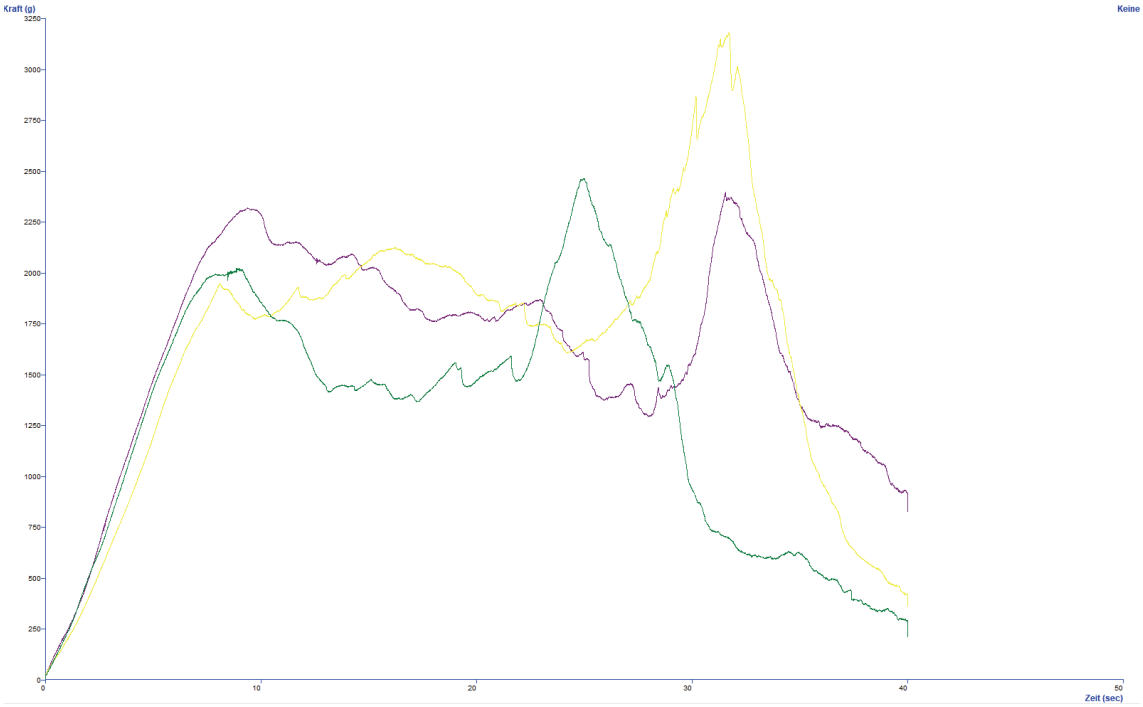


Abbildung 19: Texturanalyse-Diagramm Probe 3 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

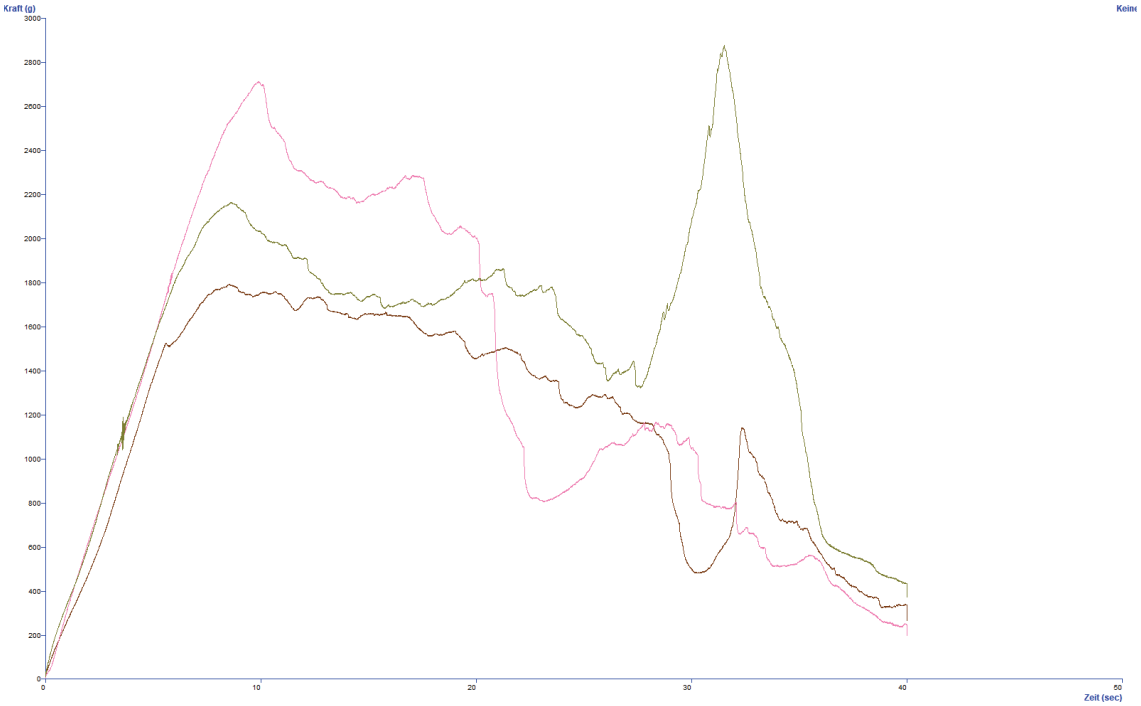


Abbildung 20: Texturanalyse-Diagramm Probe 4 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

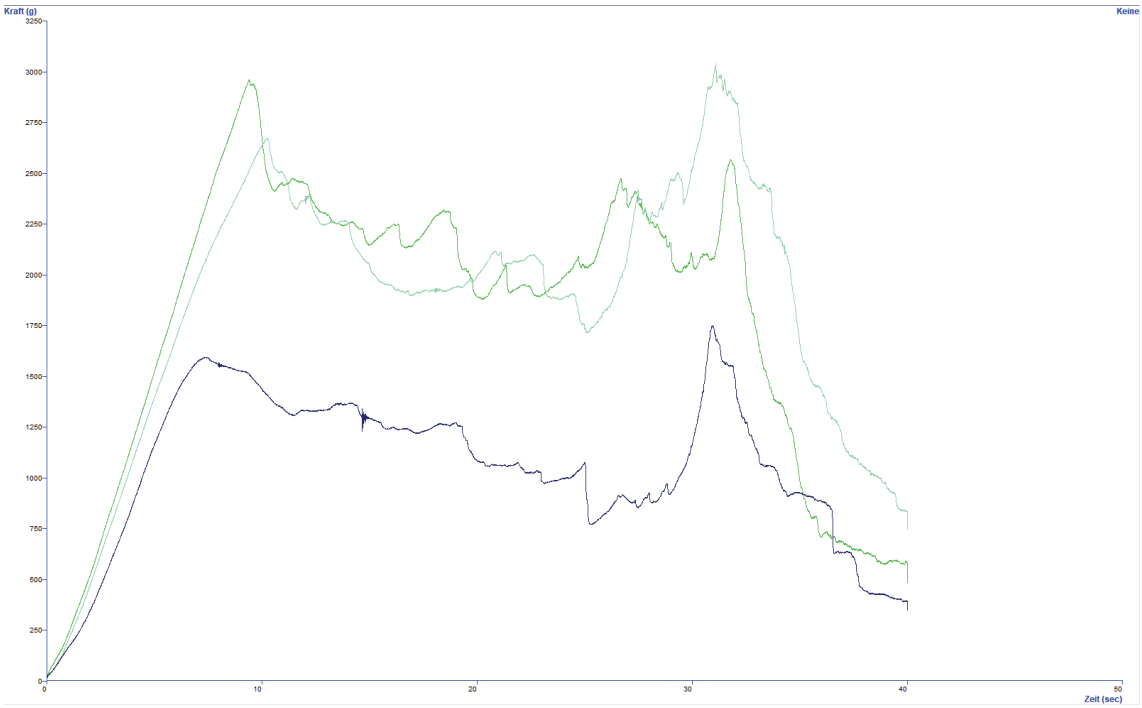


Abbildung 21: Texturanalyse-Diagramm Probe 5 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

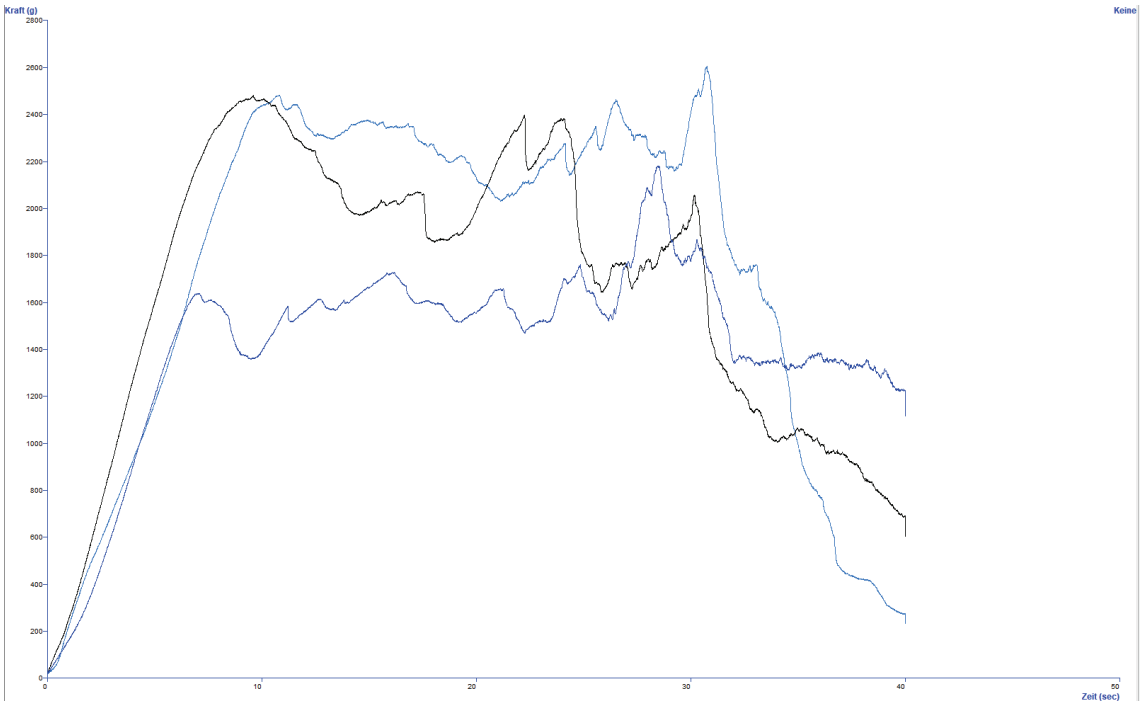


Abbildung 22: Texturanalyse-Diagramm Probe 6 (Dreifachbestimmung) (Eigene Darstellung)

Die Abbildungen 14 bis 19 zeigen die Verläufe der Kraft, mit welcher die Klinge durch die Bratwurst geschnitten hat, über der Versuchszeit, welche mit Hilfe des Texturanalysegerätes ermittelt wurden. Die Kraft wird dabei in Gramm (g) und die Zeit in Sekunden (sec) angegeben. In jeder Abbildung sind drei verschieden eingefärbte Graphen zu sehen. Jeder dieser Graphen steht für einen Versuch der jeweiligen Probe.

Das Kraft-Zeit-Diagramm der Probe 1 zeigt drei ähnliche Messverläufe. In allen Messungen steigt die aufgebrachte Kraft zunächst kontinuierlich an und erreicht ein erstes Maximum im Bereich von etwa 2600 bis 3300 g. Im weiteren Verlauf nimmt die Kraft zunächst wieder ab, bevor ein erneuter deutlicher Kraftanstieg auftritt. Dieser zweite Anstieg führt in allen Wiederholungen zu den jeweils höchsten gemessenen Kraftwerten, die je nach Messung im Bereich von circa 2800 bis 4400 g liegen. Nach Erreichen dieses Maximums fällt die Kraft deutlich ab und zeigt anschließend einen weiter abnehmenden Verlauf bis zum Ende der Messung. Die Kurven weisen insgesamt vergleichbare Verlaufsmuster auf, unterscheiden sich jedoch in der Höhe der jeweiligen Maximalwerte sowie in der Ausprägung der Kraftabnahme zwischen den beiden Kraftspitzen.

Die Kraft-Zeit-Kurven der Probe 2 zeigen in allen Wiederholungen einen vergleichbaren Grundverlauf. Zu Beginn steigt die Kraft kontinuierlich an und erreicht zunächst ein erstes lokales Maximum im Bereich von etwa 2000 bis 3000 g. Darauf folgt eine Phase mit abnehmenden beziehungsweise schwankenden Kraftwerten, bevor in allen Wiederholungen ein erneuter deutlicher Anstieg auftritt. Dieser zweite Kraftanstieg führt zu den jeweils höchsten gemessenen Werten, die je nach Messung unterschiedlich stark ausgeprägt sind und in den Bereich von rund 4700 g reichen. Im Anschluss an das

jeweilige Maximum nimmt die gemessene Kraft deutlich ab und verläuft bis zum Messende weiter fallend. Zwischen den Wiederholungen zeigen sich Unterschiede sowohl in der Höhe der Maximalwerte als auch im Verlauf der Kraftabnahme nach den einzelnen Spitzen, während die grundsätzliche Struktur der Kurven erhalten bleibt.

Die Kraft-Zeit-Kurven der Probe 3 zeigen einen ähnlichen grundlegenden Verlauf, unterscheiden sich jedoch in der Ausprägung einzelner Kraftspitzen. Zu Beginn steigt die Kraft in allen Wiederholungen gleichmäßig an und erreicht zunächst ein Maximum im Bereich von etwa 1900 bis 2300 g. Im weiteren Verlauf kommt es zu einem Rückgang der gemessenen Kräfte, bevor erneut ein Anstieg einsetzt. Dieser führt in allen Messungen zu einem zweiten, deutlich ausgeprägten Maximum. Die höchsten gemessenen Kräfte liegen dabei in einem Bereich von rund 2400 g bis über 3000 g. Nach Erreichen dieser Spitzenwerte fällt die Kraft deutlich ab und zeigt bis zum Ende der Messung einen weiter abnehmenden Verlauf. Trotz ähnlicher Grundstruktur der Kurven treten Unterschiede hinsichtlich der Lage und Höhe der Maximalwerte sowie der Intensität der Kraftabnahme zwischen den einzelnen Wiederholungen auf.

Die Kraft-Zeit-Kurven der Probe 4 einen ähnlichen grundsätzlichen Verlauf. Zu Beginn steigt die aufgebrachte Kraft kontinuierlich an und erreicht ein erstes Maximum im Bereich von etwa 1700 g bis 2700 g. Diese Anfangsmaxima fallen in ihrer Höhe unterschiedlich aus. Im weiteren Verlauf kommt es zu einer Abnahme der Kraft, bevor erneut ein deutlicher Kraftanstieg einsetzt. Dieser führt gegen Ende der Messungen zu einem zweiten, jeweils höheren Maximum, das je nach Wiederholung unterschiedlich stark ausgeprägt ist und Werte von bis nahezu 3000 g erreicht. Auch diese Endmaxima unterscheiden sich in ihrer Höhe deutlich zwischen den einzelnen Messungen. Nach dem Erreichen der jeweiligen Spitzenwerte fällt die Kraft in allen Wiederholungen ab und zeigt bis zum Ende einen weiter abnehmenden Verlauf. Insgesamt wird damit sichtbar, dass sowohl die Initialen als auch die späteren maximalen Kraftwerte zwischen den Wiederholungen variieren, während die grundlegende Struktur der Verläufe erhalten bleibt.

Die Kraft-Zeit-Kurven der Probe 5 zeigen in allen Wiederholungen einen ähnlichen Verlauf mit zwei deutlich erkennbaren Kraftanstiegen. Zu Beginn steigt die Kraft zunächst an und erreicht ein erstes Maximum, das je nach Wiederholung unterschiedlich ausgeprägt ist und im Bereich von etwa 1500 g bis nahezu 3000 g liegt. Im weiteren Verlauf folgt eine Phase mit abnehmenden Kraftwerten. Gegen Ende der Messung tritt erneut ein deutlicher Kraftanstieg auf, der in allen drei Wiederholungen zu einem zweiten Maximum führt. Diese späteren Maximalwerte unterscheiden sich in ihrer Höhe zwischen den Messungen und liegen ebenfalls in einem breiten Bereich. Nach Erreichen der Spitzenwerte fällt die Kraft deutlich ab und zeigt bis zum Ende der Messung einen kontinuierlich fallenden Verlauf. Insgesamt weisen die Kurven eine vergleichbare Grundstruktur auf, während sowohl die anfänglichen als auch die späteren Maximalwerte variieren.

Die Kraft-Zeit-Verläufe der letzten und 6. Probe zeigen in allen Wiederholungen einen ähnlichen grundlegenden Verlauf. Zu Beginn steigt die Kraft kontinuierlich an und er-

reicht ein erstes Maximum im Bereich von etwa 1600 g bis 2500 g. Im weiteren Verlauf folgen schwankende Kraftwerte, bevor im späteren Messabschnitt erneut ein deutlicher Kraftanstieg einsetzt. Dieser führt zu einem zweiten ausgeprägten Maximum, das je nach Wiederholung eine unterschiedliche Höhe erreicht und im Bereich von etwa 2000 g bis 2600 g liegt. Nach diesen Spitzenwerten fällt die gemessene Kraft deutlich ab und nimmt bis zum Ende der Messung weiter ab. Die Messungen weisen insgesamt eine vergleichbare Struktur auf, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Höhe der Maximalwerte sowie im Verlauf der Kraftabnahme am Ende der Messung.

Im Vergleich der Diagramme aller untersuchten Proben zeigt sich ein grundsätzlich ähnlicher Verlauf der Kurven mit einem anfänglichen Kraftanstieg, einem zwischenzeitlichen Abfall, dem ein Plateau folgt und einem erneuten Kraftanstieg. Bei allen Messungen treten jeweils zwei ausgeprägte Kraftspitzen auf, deren Höhe und zeitliche Lage variieren. Zwischen den Proben bestehen Unterschiede in der Höhe der gemessenen Maximalkräfte sowie in der Ausprägung der Kurvenverläufe. Die Probe ohne Lupinenanteil weist die höchsten gemessenen Kraftwerte auf, während die Maximalwerte bei den Proben mit Lupinenanteilen insgesamt in niedrigeren Bereichen liegen und eine größere Streuung zwischen den Wiederholungen zeigen. Darüber hinaus unterscheidet sich der Verlauf zwischen den beiden Kraftmaxima. Mit zunehmendem Lupinenanteil treten hier vermehrt schwankende Kraftniveaus sowie unterschiedlich ausgeprägte Abfälle vor dem zweiten Kraftanstieg. Die grundlegende Form der Kurven bleibt jedoch bei allen Proben erhalten.[1]

4.2.2 Sensorik

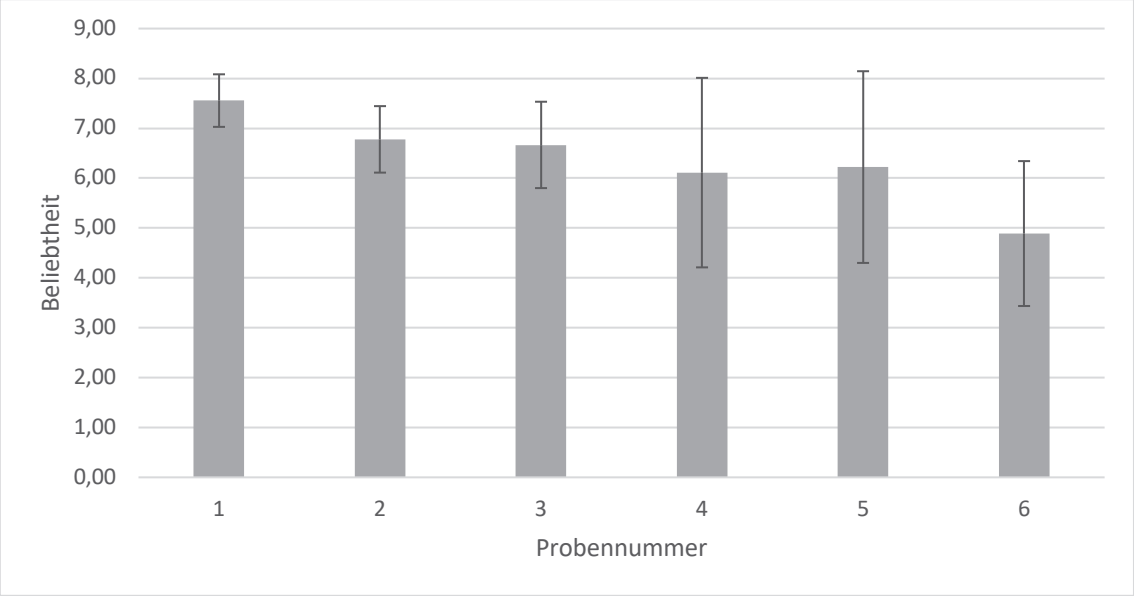


Abbildung 23: Diagramm der Beliebtheitswerte des Hauptversuches (Eigene Darstellung)

[1] Teile dieses Textes wurden mithilfe des KI-Tools ChatGPT (OpenAI, Version 5.2, Zugriff am 10.02.2026) generiert und vom Autor inhaltlich angepasst und validiert.

Im Hauptversuch besteht das Panel aus neun Panelisten. Die Mittelwerte der Gesamtbewertung liegen in einem Bereich zwischen 4,89 und 7,56 Punkten, wie in Abbildung 21 zu sehen ist. Die Variante mit 0 % Lupinenanteil erreicht mit 7,56 Punkten den höchsten Mittelwert. Es folgen die Varianten mit 10 % (6,78 Punkte), 15 % (6,67 Punkte), 25 % (6,22 Punkte) und 20 % Lupinenanteil (6,11 Punkte). Die Variante mit 30 % Lupinenanteil erzielt mit 4,89 Punkten den niedrigsten Mittelwert. Die Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Mittelwert beträgt 2,67 Skalenpunkte.

Der Friedman-Test ergibt einen p-Wert von 0,008, ein χ^2 von 15,54 und ein Kendall´s W von 0,345. Der post-hoc-Test zeigt, dass sich die Bewertung der Probe 6 signifikant von den anderen Proben unterscheidet. Ebenso zeigen die Daten, dass sich die Referenzprobe (Probe 1) ebenfalls von den lupinenhaltigen Proben abhebt, jedoch statistisch nicht in jedem Fall signifikant, da p bei einigen Vergleichen geringfügig über 0,05 liegt.

Im Rahmen der Zuordnungsaufgabe wird erfasst, wie häufig die Proben korrekt identifiziert wurden. Die Variante mit 0 % Lupinenanteil wurde von allen Panelisten korrekt zugeordnet (9 von 9; 100 %). Bei der 10 %-Variante erfolgte eine Fehlzuordnung, sodass acht von neun Panelisten die Probe korrekt identifizierten (88,9 %). Die 15 %-Variante wurde in zwei Fällen falsch zugeordnet (7 von 9; 77,8 %). Für die Varianten mit 20 % und 25 % Lupinenanteil traten jeweils drei Fehlzuordnungen auf, was einer korrekten Zuordnung durch sechs von neun Panelisten entspricht (66,7 %). Die 30 %-Variante wurde zweimal falsch zugeordnet, sodass sieben von neun Panelisten die Probe korrekt identifizierten. (77,8 %)

Über alle Varianten hinweg liegt im Rahmen der einfach beschreibenden Prüfung eine große Anzahl sensorischer Attribute vor. Die meisten Nennungen fallen auf die Kategorien Geschmack und Textur, gefolgt von Geruch, Farbe und Form.

Die Probe mit **0 % Lupinenanteil** wird überwiegend als „braun“ und „grau“ beschrieben, ergänzt durch „dunkel“, „kupfer“, „schwarz“, „hell“, „rot“ und „grün“. Die Form wird vor allem mit „rund“, „homogen“, „glatt“, „zylindrisch“, „kompakt“ und „grob“ charakterisiert. Im Geruch dominieren „würzig“, „arttypisch“ und „Röstaromen“. Geschmacklich werden besonders häufig „salzig“, „würzig“ und „arttypisch“ genannt. Die Textur wird überwiegend als „krümelig“, „trocken“, „grob“ und „saftig“ beschrieben.

Die Farbwahrnehmung der Probe mit **10 % Lupinenanteil** umfasst vor allem „gelb“, „braun“ und „grau“, ergänzt durch „dunkel“, „grün“, „schwarz“, „rot“ und „hell“. Die Form wird mit „grob“, „stückig“, „homogen“, „rund“, „kompakt“ und „zylindrisch“ beschrieben. Im Geruch treten häufig „würzig“, „arttypisch“ und „Röstaromen“ auf. Geschmacklich dominieren „salzig“, „arttypisch“, „pfeffrig“ und „würzig“. Die Textur wird vor allem durch die Attribute „krümelig“, „trocken“, „fest“ und „homogen“ charakterisiert.

Die Farbe der Probe mit **15 % Lupinenanteil** wird als „braun“ und „gelb“ beschrieben, ergänzt durch „grau“, „dunkel“, „hell“, „kupfer“, „beige“ und „grün“. Die Form wird mit „grob“, „rund“, „zylindrisch“, „stückig“ und „kompakt“ beschrieben. Im Geruch dominieren „würzig“, „Röstaromen“ und „arttypisch“, ergänzt durch „nussig“ und „pflanzlich“.

Geschmacklich werden „salzig“, „würzig“ und „nussig“ genannt. Die Textur wird überwiegend als „krümelig“, „trocken“, „kompakt“ und „stückig“ beschrieben.

Die Farbumschreibung der Probe mit **20 % Lupinenanteil** umfasst vor allem „gelb“, „braun“ und „grau“, ergänzt durch „dunkel“, „hell“, „grün“, „blass“ und „beige“. Die Form wird mit „grob“, „rund“, „stückig“ und „zylindrisch“ beschrieben. Im Geruch treten besonders häufig „würzig“, „Röstaromen“ und „arttypisch“ auf. Geschmacklich dominieren „salzig“, „würzig“ und „nussig“. Die Textur wird überwiegend als „krümelig“, „trocken“ und „stückig“ beschrieben.

Die Farbe der **25 %-Probe** wird hauptsächlich als „gelb“ und „braun“ beschrieben, ergänzt durch „hell“, „dunkel“, „grau“, „beige“ und „grün“. Die Form wird vor allem mit „grob“, „rund“ und „zylindrisch“ beschrieben. Im Geruch dominieren „würzig“, „arttypisch“ und „Röstaromen“. Geschmacklich werden besonders häufig „salzig“, „würzig“ und „nussig“ genannt. Die Textur wird überwiegend mit „krümelig“, „trocken“ und „körnig“ beschrieben.

Die Farbwahrnehmung der **30 %-Probe** umfasst überwiegend „gelb“ und „braun“ und wird durch „hell“, „grau“, „dunkel“, „grün“ und „beige“ ergänzt. Die Form wird vor allem mit „grob“, „rund“, „zylindrisch“ und „kompakt“ beschrieben. Im Geruch dominieren „würzig“, „arttypisch“ und „fleischig“. Geschmacklich werden besonders häufig „würzig“, „salzig“ und „nussig“ genannt. Die Textur wird als „trocken“, „krümelig“ und „grob“ beschrieben.

Beim Vergleich der Varianten zeigen sich Unterschiede in der Häufigkeit einzelner Attributnennungen in Abhängigkeit vom Lupinenanteil. Gelbliche und bräunliche Farbtöne treten in allen Varianten wiederholt auf, wobei zusätzliche Farbnennungen je nach Probe variieren. In Bezug auf die Form werden grobstrukturierte Eigenschaften häufig beschrieben. Ergänzende Attribute wie „homogen“, „glatt“ oder „heterogen“ treten variierend zwischen den Proben auf. Geruchlich werden diese häufig durch „würzig“, „arttypisch“ und „Röstaromen“ charakterisiert. Geschmacklich dominieren in allen Varianten die Attribute „salzig“ und „würzig“. Ergänzend werden „nussige“, „pflanzliche“ und gewürztypische Noten beschrieben. Die Textur wird bei allen Proben überwiegend durch Eigenschaften wie „krümelig“, „trocken“, „grob“ und „stückig“ charakterisiert. Insgesamt können alle Varianten anhand einzelner Attribute differenziert sensorisch beschrieben werden. Die Ergebnisse der beschreibenden Prüfung zeigen ein breites Spektrum wahrgenommener sensorischer Eigenschaften sowie geringfügige Unterschiede in der Attributverteilung und -auswahl zwischen den Proben.

4.3 Ernährungsphysiologie

Für die Berechnung der Ernährungsphysiologie der entwickelten Bratwurst wird die Rezeptur der insgesamt am besten bewerteten Lupinen-Variante und der Referenzprobe gegenübergestellt. Die am besten bewertete Variante ist die Bratwurst mit 10% Lupinenanteil. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 15 dargestellt.

Als Referenzwerte für die essenziellen Aminosäuren werden die Werte für Kleinkinder im Alter von 0,5 Jahren verwendet, da diese den Bedarf an Aminosäuren am strengsten bewerten. (FAO, 2013)

Die Verdaulichkeit von Lupinenkernen wird auf 91 % festgelegt, wobei Schweinefleisch und Schweinebauch eine Verdaulichkeit von 94 % aufweisen. (Mariotti, Pueyo, Tomé, & Mahé, 2002), (Bergner, 2025)

Tabelle 14: Kennwerte zur Berechnung des PDCAAS der 0 %- und 10 %-Variante (Eigene Darstellung)

Kennwert	**10 % Lupine**	**0 % Lupine**	**Differenz**
Niedrigster AAS	1,17 (Leucin)	1,20 (Leucin)	- 0,03
AAS nach Kappung	1,00	1,00	0,00
Verdaulichkeit	0,935	0,940	- 0,005
PDCAAS	0,935	0,940	- 0,005

Die berechneten PDCAAS-Werte liegen für beide Rezepturvarianten auf vergleichbarem Niveau. Die Lupinenvariante erreicht einen Wert von 0,935, während die Referenzprobe einen PDCAAS von 0,940 aufweist.

Tabelle 15: Nährwerttabelle der 0 %- und 10 %-Variante für 100 g mit Differenz (Eigene Darstellung)

Nährwert	**10 % Lupine**	**0 % Lupine**	**Differenz**
Energie	668 kJ / 160 kcal	683 kJ / 163 kcal	- 15 kJ / - 3 kcal
Fett	8,6 g	9,3 g	- 0,7 g
Davon gesättigte Fettsäuren	3,6 g	4,0 g	- 0,4 g
Kohlenhydrate	1,3 g	0,0 g	+ 1,3 g
Davon Zucker	0,0 g	0,0 g	0,0 g
Ballaststoffe	0,5 g	0,0 g	+0,5 g
Eiweiß	19,0 g	19,9 g	- 0,9 g
Salz	1,8 g	1,8 g	0,0 g

Die berechneten Nährwerte in Tabelle 15 zeigen Unterschiede in der Zusammensetzung pro 100 g Produkt. Durch den Einsatz von 100 g gekochten Lupinenkernen verringert sich der Energiegehalt geringfügig. Gleichzeitig sinken der Fettgehalt sowie der Gehalt an gesättigten Fettsäuren. Der Kohlenhydrat- und Ballaststoffgehalt erhöhen sich hingegen. Der Eiweißgehalt liegt in der Lupinenvariante leicht unter dem Wert der Referenzprobe. Der Salzgehalt bleibt nahezu unverändert. Insgesamt zeigt sich somit eine Verschiebung der Nährstoffzusammensetzung durch die Zugabe von Lupinenkernen, insbesondere in Bezug auf Fett, gesättigte Fettsäuren, Kohlenhydrate und Ballaststoffe.

5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer frischen groben Bratwurst mit partieller Substitution des Fleischanteils durch Lupinenkerne sowie die Untersuchung der technologischen, sensorischen und ernährungsphysiologischen Eigenschaften. Dabei soll insbesondere bewertet werden, in welchem Umfang Lupinen als pflanzlicher Rohstoff eingesetzt werden können, ohne die produktspezifischen Eigenschaften einer groben Bratwurst zu beeinträchtigen.

5.1 Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass eine partielle Substitution von Fleisch durch Lupinenkerne technologisch möglich ist, jedoch sowohl funktionelle als auch sensorische Grenzen bestehen.

Die physikalisch-chemischen Analysen verdeutlichen, dass der Einsatz von Lupinenkernen verschiedene technologische Parameter beeinflusst, allerdings nicht in allen Fällen linear oder eindeutig. Die Farbmessungen zeigen eine tendenzielle Aufhellung sowie eine Zunahme des Gelbanteils mit steigendem Lupinenanteil. Dies ist plausibel, da Lupinen im Vergleich zu Muskelfleisch hellere und gelblichere Eigenfarben aufweisen. Gleichzeitig bleibt der Rotanteil weitgehend stabil, sodass die grundsätzliche optische Wahrnehmung eines fleischbasierten Produktes erhalten bleibt. Da die Farbwerte in der Theorie schwer vorstellbar sind, kann man diese auf verschiedenen Internetseiten eintragen, und sich somit die entsprechende Farbe darstellen lassen. Ein Beispiel für eine solche Internetseite ist der Online-Farbkonverter von ASPOSE, welche unter folgendem Link zu finden ist:

https://products.aspose.com/svg/de/net/color-converter/rgb-to-lab/

Diese Funktion macht es dem Leser einfacher, sich die tatsächlich gemessenen Farben vorzustellen. Dabei ist zu beachten, dass die gemessenen und infolgedessen dargestellten Werte nur Durchschnittswerte der gemessenen Probe sind, und demzufolge keine arttypischen Strukturmerkmale darstellen. Die Wasseraktivität liegt bei allen Varianten auf einem vergleichbaren Niveau. Im Vergleich mit Literaturwerten, welche für vergleichbare Produkte bei 0,93 bis 0,98 liegen, sind die gemessenen Werte im Rahmen. (Sielaff, 1996) Daraus lässt sich ableiten, dass die Lupinensubstitution keinen entscheidenden Einfluss auf die mikrobiologisch relevante Wasserverfügbarkeit hat. Der pH-Wert zeigt mit steigender Lupinenzugabe eine leichte Abnahme. Diese kann auf die chemische Zusammensetzung pflanzlicher Rohstoffe zurückgeführt werden, die sich vom Muskelprotein unterscheidet. Da sich die Werte jedoch in einem engen Bereich bewegen, ist davon auszugehen, dass die technologische Stabilität des Produktes dadurch nicht maßgeblich beeinträchtigt wird. Für die Trockenmasse und Restfeuchte lässt sich kein eindeutiger linearer Zusammenhang erkennen. Dies deutet darauf hin, dass neben dem Lupinenanteil weitere Faktoren wie Verarbeitung, Fettverteilung oder Wasserbindungseffekte eine Rolle spielen. Besonders interessant ist der

Garverlust. Hier zeigt sich bei mittleren Lupinenanteilen eine deutliche Reduktion, insbesondere bei der Variante mit 25 % Lupinen. Dies lässt sich durch die hohe Wasserbindungsfähigkeit von beispielsweise zugesetzten Ballaststoffen erklären, die während des Garens Flüssigkeitsverluste reduzieren können.

> *„Nicht verdauliche pflanzliche Stoffe enthalten verschiedene Komponenten, die als Bindemittel fungieren oder das Wasserbindevermögen von analogen Fleischerzeugnissen verbessern können." (McClements, Grossmann, & Wagemans, 2024)*

Bei sehr hohen Anteilen, wie 30 %, steigt der Garverlust wieder an, was auf eine begrenzte Bindungsfähigkeit im Gesamtsystem hinweisen kann. Auch die Texturanalyse zeigt, dass sich die mechanischen Eigenschaften der Bratwürste mit zunehmender Lupinensubstitution verändern, jedoch ein grundlegendes Strukturmuster erhalten bleibt. Die typischen Kraftspitzen während der Messung treten in allen Varianten auf, was darauf hindeutet, dass die grundlegende Produktstruktur auch bei pflanzlicher Ergänzung bestehen bleibt. Gleichzeitig variieren Höhe und Verlauf der Kraftwerte, was auf Veränderungen in Bindung, Festigkeit und Faserstruktur schließen lässt. Die sensorischen Ergebnisse zeigen deutlich, dass Lupinenkerne einen wahrnehmbaren Einfluss auf Aussehen, Geschmack und Textur der Bratwürste haben, die Produkte jedoch weiterhin als arttypisch wahrgenommen werden. Im Vorversuch zeigt sich, dass insbesondere die Zerkleinerungsart der Lupinenkerne die sensorische Wahrnehmung beeinflusst. Unterschiede in Textur und Mundgefühl sind deutlich erkennbar, während die Beliebtheitswerte insgesamt nur gering voneinander abweichen. Dies deutet darauf hin, dass die Lupinenpartikelgröße zwar sensorisch wahrnehmbar ist, jedoch keinen entscheidenden Einfluss auf die generelle Akzeptanz hat. Diese Aussage wird durch den hohen p-Wert des Friedman-Tests bestätigt. Dieser zeigt mit 0,905, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bewertungen der Proben liegen. Da zudem Kendall´s W mit 0,017 sehr gering ist, liegt nur eine sehr geringe Effektstärke vor. (Cohen, 1992) Das χ^2 mit einem Wert von 0,564 spricht für eine sehr geringe Unterschiedsstärke. Die Standardabweichungen sind bei allen Proben ähnlich, zeigen jedoch eine relativ starke Streuung der Beliebtheiten. Im Hauptversuch wird gezeigt, dass mit zunehmendem Lupinenanteil pflanzliche, nussige und teilweise erdige Noten stärker wahrgenommen werden, während fleischtypische und würzige Attribute weiterhin dominieren. Die Textur wird häufig als „grob", „krümelig" und „trocken" beschrieben, unabhängig vom Lupinenanteil, was auf die grundsätzliche Struktur einer groben Bratwurst der gewählten Rezeptur zurückzuführen ist. Dieses Problem könnte behoben werden, indem Fleisch verwendet wird, welches einen höheren Fett- und Sehnenanteil aufweist, wie zum Beispiel Schweinenacken. Ebenfalls könnte eine ausschließliche Substitution des S2-Fleischanteils mit gleichbleibender Menge von S4-Fleisch zielführend sein, da so im Endprodukt ein etwas höherer Fettgehalt erzielt wird. Im gleichen Zug könnten weitere sensorische Versuche durchgeführt werden, um zu ermitteln, ob mit dieser veränderten Rezeptur höhere Lupinensubstitutionen mit besserer Verbraucherakzeptanz erreicht werden. Die insgesamt besten Bewertungen werden bei mode-

raten Lupinenanteilen erzielt, insbesondere bei der 10 %-Variante, während sehr hohe Substitutionsgrade sensorische Veränderungen verstärken und teilweise negativ wahrgenommen werden. Der Friedman-Test dieses Versuchs zeigt, dass die Proben signifikante Unterschiede zeigen, durch einen p-Wert von 0,008. Dieser liegt weit unter der „0,05-Grenze“. Desweiteren liegt das χ^2 bei 15,54, was deutliche Unterschiede zwischen den Proben bestätigt. Die Effektstärke Kendall´s W liegt mit 0,345 im mittleren Bereich. (Cohen, 1992) Erkennbar ist zudem, dass die Standardabweichung bei den Proben mit höheren Lupinenanteilen ansteigt, was darauf schließt, dass die Bewertungen der Panelisten mit steigendem Lupinenanteil unterschiedlicher bewertet werden und sich die Akzeptanz stärker voneinander unterscheidet. Diese Ergebnisse bestätigen, dass hybride Fleischprodukte insbesondere dann akzeptiert werden, wenn sie sich sensorisch möglichst nah am bekannten Produkt orientieren. Die ernährungsphysiologischen Berechnungen zeigen, dass sich durch die Lupinensubstitution Veränderungen in der Nährstoffzusammensetzung ergeben. Der Fettgehalt sowie der Anteil gesättigter Fettsäuren sinken, während der Kohlenhydrat- sowie der Ballaststoffanteil steigen. Gleichzeitig bleibt der Eiweißgehalt auf einem vergleichbaren Niveau. Die Proteinqualität bleibt ebenfalls weitgehend erhalten. Die PDCAAS-Werte der Lupinen- und Referenzvariante liegen auf einem ähnlichen Niveau, wobei die leichte Differenz auf eine geringfügig niedrigere Verdaulichkeit der pflanzlichen Proteinanteile zurückzuführen ist. Damit zeigt sich, dass eine teilweise Substitution von Fleisch durch Lupinen ernährungsphysiologisch möglich ist, ohne die Proteinqualität wesentlich zu verschlechtern. Gleichzeitig kann eine Verschiebung in Richtung eines günstigeren Fettsäureprofils und eine Erhöhung des Ballaststoffgehaltes erreicht werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stehen im Kontext aktueller Entwicklungen im Ernährungsverhalten. Der Wunsch nach einer Reduktion tierischer Produkte, ohne vollständig auf vertraute Lebensmittel zu verzichten, führt zu einer steigenden Bedeutung hybrider Produktkonzepte. Die entwickelten Bratwürste zeigen, dass Lupinenkerne als regional verfügbarer pflanzlicher Rohstoff geeignet sind, um Fleisch teilweise zu ersetzen. Dadurch können potenziell ökologische Effekte, wie eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs, sowie ethische Aspekte im Zusammenhang mit Tierwohl adressiert werden, ohne dass Konsument*innen vollständig auf bekannte Produktstrukturen verzichten müssen.

> *„Bei der Erzeugung von Hülsenfrüchten, Fischen, Meerestieren, Geflügel, Fleisch und Eiern entstehen sehr unterschiedliche Mengen an CO_2 und teilweise zusätzlich klimaschädigendes Methan. Getrocknete Hülsenfrüchte schneiden in dieser Gruppe der Proteinlieferanten am besten ab.“ (Elmadfa & Fritzsche, Unsere Lebensmittel; Wissen, was drin steckt und gesund macht, 2024)*

Trotz der positiven Ergebnisse zeigen sich klare Grenzen der Substitution. Mit steigenden Lupinenanteilen verändern sich insbesondere Geschmack und Textur zunehmend. Pflanzliche Noten treten stärker hervor, während fleischtypische Eigenschaften teilweise abgeschwächt werden. Dies beeinflusst die Akzeptanz. Auch technologisch kann

eine zu hohe Substitution zu strukturellen Veränderungen führen, etwa im Hinblick auf Bindung, Wasserverteilung oder Garverhalten. Daraus lässt sich ableiten, dass eine vollständige Substitution im Rahmen einer groben Bratwurst nur eingeschränkt möglich erscheint, während moderate Anteile technologisch und sensorisch umsetzbar sind.

Zusammenfassend zeigt die Arbeit, dass Lupinenkerne ein geeigneter Rohstoff für die partielle Substitution von Fleisch in groben Bratwürsten sind. Insbesondere moderate Substitutionsstufen ermöglichen eine Kombination aus technologischer Stabilität, sensorischer Akzeptanz und ernährungsphysiologischen Vorteilen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass hybride Fleischprodukte ein praktikabler Ansatz sind, um den Fleischkonsum schrittweise zu reduzieren und gleichzeitig die Akzeptanz traditioneller Lebensmittel zu erhalten. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Produktentwicklung ein ausgewogenes Verhältnis zwischen funktionellen Eigenschaften, sensorischer Qualität und ernährungsphysiologischen Aspekten erfordert.[2]

5.2 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Lupinenkerne grundsätzlich als geeigneter pflanzlicher Rohstoff zur partiellen Substitution von Fleisch in frischen groben Bratwürsten eingesetzt werden können. Sowohl technologisch als auch sensorisch ließ sich eine Integration in das Produktsystem realisieren, ohne dass die grundlegenden Eigenschaften einer groben Bratwurst verloren gingen. Besonders moderate Substitutionsstufen erweisen sich als sinnvoll, da sie eine gute Balance zwischen technologischer Stabilität, sensorischer Akzeptanz und ernährungsphysiologischen Vorteilen ermöglichen. Gleichzeitig zeigten sich bei höheren Lupinenanteilen zunehmende Veränderungen in Textur und Geschmack, wodurch Grenzen der Substitution deutlich wurden. Ernährungsphysiologisch konnte eine leichte Verschiebung der Nährstoffzusammensetzung in Richtung geringerer Fettgehalte und vergleichbarer Proteinqualität erreicht werden, sodass Lupinenkerne auch unter diesem Aspekt als geeignete Ergänzung tierischer Rohstoffe bewertet werden können.

Für zukünftige Arbeiten ergibt sich ein Potenzial zur weiteren Optimierung hybrider Fleischprodukte. Insbesondere könnten technologische Anpassungen, beispielsweise durch den Einsatz von Zusatzstoffen oder veränderter Verarbeitungsverfahren, dazu beitragen, höhere Substitutionsgrade zu ermöglichen. Auch weiterführende sensorische Untersuchungen mit größerem Sensorikpanel sowie Untersuchungen zur Haltbarkeit und mikrobiologischen Stabilität wären sinnvoll, um die Praxistauglichkeit solcher Produkte weiter zu bewerten. Darüber hinaus stellt die Nutzung regional verfügbarer pflanzlicher Rohstoffe wie Lupinen einen vielversprechenden Ansatz dar, um nachhaltigere und ressourcenschonendere Lebensmittelkonzepte zu entwickeln.

---

[2] Teile dieses Textes wurden mithilfe des KI-Tools ChatGPT (OpenAI, Version 5.2, Zugriff am 14.02.2026) generiert und vom Autor inhaltlich angepasst und validiert.

6 Anhang

<u>Prüfverfahren</u>
Einfach beschreibende Prüfung

Datum:
Prüfgut: Hybridbratwurst Lupine (Allergen!)
Versuch: Partikelgröße

Prüfanleitung:
Beschreiben Sie bei den Ihnen vorliegenden Prüfgütern die vorgegebenen Merkmale.
Achten Sie besonders auf die Textur und das Mundgefühl!

Merkmale				
Farbe				
Form				
Geruch				
Geschmack				
Textur / Mundgefühl				
Beliebtheit 1-9				

9 - sehr gut

1- sehr schlecht

Abbildung 24: Prüfbogen Vorversuch (Eigene Darstellung)

Prüfverfahren
Einfach beschreibende Prüfung

Name:
Datum:
Prüfgut: Hybridbratwurst Lupine (Allergen!)

Prüfanleitung:
Beschreiben Sie bei den Ihnen vorliegenden Prüfgütern die vorgegebenen Merkmale.
Bewerten Sie die verschiedenen Proben zusätzlich auf der Skala 1 bis 9.
(9 = sehr gut, 1 = sehr schlecht)
In der Zeile „Einordnung" ordnen Sie die Proben nach der Menge der enthaltenen Lupinenkerne. (1 = keine Lupinenkerne, 6 = die meisten Lupinenkerne)

Merkmale			
Farbe			
Form			
Geruch			
Geschmack			
Textur / Mundgefühl			
Beliebtheit 1-9			
Einordnung			

Abbildung 25: Prüfbogen Hauptversuch (Seite 1) (Eigene Darstellung)

Name:

Merkmale			
Farbe			
Form			
Geruch			
Geschmack			
Textur / Mundgefühl			
Beliebtheit 1-9			
Einordnung			

Abbildung 26: Prüfbogen Hauptversuch (Seite 2) (Eigene Darstellung)

Grundrezeptur		Lupinenanteil [%]	
		0	
		Gewünschte Masse [g]	
Zutat		1000	
Schweinefleisch (S2)			583,09
Schweinebauch (S4)			388,73
Lupinenkerne gekocht			0,00
Salz			16,52
Pfeffer			2,92
Majoran			4,86
Macis			0,97
Muskat			0,97
Zitronenabrieb			0,97
Ingwer			0,97
Gesamtmasse			1000,00

Abbildung 27: Excel-Tabelle zur Berechnung der versch. Rezepturen (Eigene Darstellung)

Bestellung Übersicht

				* 4	* 6
Sensorik	pro Person [g]	Anzahl Panelisten	[g] * Panel.	Vorversuch	Hauptversuch
	25	15	375	1500	2250

	Sensorik	Texture Analyser	LAB	aw	ph	TM	Bratverlust	Gesamt	Sicherheitsbeiwert	Wurst [g]	Schweinefleisch	Schweinebauch	
Vorversuch	1500	0	Endstück	Endstück	Endstück	Endstück	0	1500	2	3000	1400	1000	750
Hauptversuch	2250	1800	Endstück	Endstück	Endstück	Endstück	0	4050	2	8100	4050	2750	1350
		3 Würste mit je 100 g multipliziert mit 6 Chargen								Gesamt	5450	3750	
										gerundet	5500	4000	

Berechnung der Menge an Fleisch und Bauch mithilfe von Tabelle 2

3000	Lupinenkerne [%]	Schweinefleisch [g]	Schweinebauch [g]
	20	1400	1000

8100 / 6 =	1350	Lupinenkerne [%]	Schweinefleisch [g]	Schweinebauch [g]
		0	800	550
		10	750	500
		15	700	450
		20	650	450
		25	600	400
		30	550	400
		Gesamt	4050	2750

	S2	S4	
Beutel Nr.	Gewicht [g]	Gewicht [g]	
1	1068	1360	
2	1013	1070	
3	1050	1048	
4	1040	1052	
5	1036	1083	
6	1048		
Gesamt	4174	4253	eingefroren am 16.01.26

Abbildung 28: Excel-Übersicht der Bestellung der Rohstoffe (Eigene Darstellung)

Lupinenkerne vor einweichen	400
nach einweichen	738
nach Kochen	985

Mehl Restfeuchte	7,49%
Kern Restfeuchte	9,21%

	wolf	**30**	**1**	**mehl**
ph	5,94	6,02	6	6
aw	0,957	0,958	0,945	0,95

LAB Wolf	**L**	**a**	**b**
1	49,84	4,33	20,08
2	49,98	4,29	20,09
3	50,14	4,24	20,08
AVG	**49,99**	**4,29**	**20,08**
LAB 30	**L**	**a**	**b**
1	52,55	4,29	22,6
2	52,92	4,3	22,7
3	53,04	4,26	22,77
AVG	**52,84**	**4,28**	**22,69**
LAB 1	**L**	**a**	**b**
1	54,28	4,39	22,19
2	54,28	4,48	22,33
3	53,61	4,61	22,41
AVG	**54,06**	**4,49**	**22,31**
LAB Mehl	**L**	**a**	**b**
1	55,05	3,97	21,48
2	54,99	4,03	21,52
3	54,75	4,06	21,38
AVG	**54,93**	**4,02**	**21,46**

Abbildung 29: Excel-Tabelle der Ergebnisse des Vorversuches (Eigene Darstellung)

	Anzahl	vor Braten	nach Braten	Differenz	Prozent
1	13	1148,8	812,6	336,2	29%
2	13	1078,4	777,6	300,8	28%
3	12	1204,3	902,8	301,5	25%
4	12	1187,9	926,2	261,7	22%
5	13	1095	1028	67	6%
6	12	1059,5	822,6	236,9	22%

Probe	ph	aw	Restfeuchte	Trockenmasse
1	6,00	0,938	35,4	64,6
2	6,05	0,947	47,34	52,66
3	5,95	0,957	38,25	61,75
4	5,86	0,954	56,22	43,78
5	5,83	0,932	49,41	50,59
6	5,83	0,964	40,9	59,1

0%	**L**	**a**	**b**
1	43,67	4,63	15,77
2	43,09	4,46	15,35
3	43,09	4,59	15,52
AVG	**43,28**	**4,56**	**15,55**
10%	**L**	**a**	**b**
1	52,77	2,86	15,89
2	52,89	2,86	15,95
3	53,66	2,88	16,2
AVG	**53,11**	**2,87**	**16,01**
15%	**L**	**a**	**b**
1	48,6	4,93	19,88
2	48,3	4,69	19,51
3	46,74	4,92	19,34
AVG	**47,88**	**4,85**	**19,58**
20%	**L**	**a**	**b**
1	55,26	4,03	21,21
2	55,25	4,02	21,2
3	55,02	4,15	21,3
AVG	**55,18**	**4,07**	**21,24**
25%	**L**	**a**	**b**
1	56,92	3,62	20,89
2	57,46	3,61	21,02
3	57,41	3,63	21,12
AVG	**57,26**	**3,62**	**21,01**
30%	**L**	**a**	**b**
1	56,01	3,61	22,86
2	56,18	3,65	22,84
3	56,24	3,66	22,86
AVG	**56,14**	**3,64**	**22,85**

Abbildung 30: Excel-Tabelle der Ergebnisse des Hauptversuches (Eigene Darstellung)

Tabelle 16: Aufschlüsselung der Codierungen (Eigene Darstellung)

Versuch	**Probennummer**	**Codierung**
Vorversuch	Probe 1	274
	Probe 2	581
	Probe 3	936
	Probe 4	402
Hauptversuch	Probe 1	386
	Probe 2	529
	Probe 3	174
	Probe 4	861
	Probe 5	742
	Probe 6	903

	274		581		936		402	
Farbe	gelb	10	gelb	9	braun	10	braun	10
	braun	8	braun	8	gelb	8	gelb	6
	grün	4	grün	4	grün	4	grau	3
	dunkel	3	grau	3	beige	2	dunkel	2
	grau	2	dunkel	3	gold	1	beige	2
	hell	1	beige	1	grau	1	grün	2
	beige	1	hell	1	dunkel	1	hell	2
			gold	1	hell	1	rot	1
							schwarz	1
							gold	1
							orange	1
		29		**30**		**28**		**31**
Form	grob	5	grob	5	grob	4	fein	4
	zylindrisch	2	zylindrisch	2	zylindrisch	2	zylindrisch	2
	stückig	2	fein	2	fein	2	kompakt	2
	fein	2	krümelig	1	stückig	1	fest	2
	rund	1	kompakt	1	rund	1	rund	2
	kompakt	1	fest	1	fest	1	krümelig	1
	fest	1	rund	1	kompakt	1	homogen	1
			homogen	1	krümelig	1	stückig	1
		14		**14**		**13**		**15**
Geruch	würzig	4	arttypisch	4	würzig	4	arttypisch	5
	arttypisch	2	Röstaromen	3	arttypisch	3	fleischig	4
	pflanzlich	2	würzig	3	fleischig	3	würzig	4
	neutral	2	fleischig	3	Röstaromen	2	Röstaromen	3
	fleischig	2	fettig	2	erdig	1	süß	1
	Röstaromen	2	pflanzlich	2	fettig	1	nussig	1
	erdig	1	nussig	1			salzig	1
	süßlich	1	salzig	1			neutral	1
	herzhaft	1	herzhaft	1			pflanzlich	1
	salzig	1	süß	1				
	fettig	1						
		19		**21**		**14**		**21**
Geschmack	fleischig	4	würzig	6	würzig	5	scharf	5
	würzig	4	fleischig	4	fleischig	4	würzig	5
	scharf	3	salzig	3	scharf	2	fleischig	4
	pflanzlich	2	süß	2	salzig	2	salzig	2
	nussig	2	scharf	2	süß	2	süß	1
	salzig	2	Röstaromen	1	lupinenartig	1	bitter	1
	pfeffrig	2	pfeffrig	1	fade	1	Röstaromen	1
	fade	1	herzhaft	1	fettig	1	seifig	1
	fettig	1	arttypisch	1	erdig	1	nussig	1
	vegan	1	fettig	1	herzhaft	1	pfeffrig	1
	erdig	1	pflanzlich	1	pfeffrig	1	arttypisch	1
	herzhaft	1			nussig	1	herzhaft	1
	Röstaromen	1			Röstaromen	1	getreideartig	1
							pflanzlich	1
		25		**23**		**23**		**26**
Textur	grob	6	trocken	5	trocken	4	krümelig	4
	krümelig	4	krümelig	5	grob	3	trocken	2
	trocken	3	grob	4	krümelig	3	belegend	2
	zäh	2	belegend	2	zäh	2	fest	2
	belegend	2	fest	1	belegend	2	fein	2
	stückig	1	feinkörnig	1	stückig	1	zäh	2
	kompakt	1	saftig	1	pulverig	1	grob	2
	faserig	1	faserig	1	weich	1	saftig	1
	fein	1	Mundschärfe	1	fade	1	klebrig	1
	saftig	1	zäh	1	klebrig	1	Mundschärfe	1
			fein	1	vollmundig	1	stückig	1
			stückig	1			bissig	1
							kompakt	1
							mehlig	1
		22		**24**		**20**		**23**
		109		**112**		**98**		**116**

Abbildung 31: Sensorik-Ergebnisse des Vorversuches (Eigene Darstellung)

	386		529		174		861		742		903	
Farbe	braun	6	gelb	6	braun	7	gelb	8	gelb	8	gelb	7
	grau	5	braun	6	gelb	7	braun	6	braun	6	braun	6
	dunkel	4	grau	4	dunkel	4	grau	4	hell	3	hell	3
	kupfer	2	dunkel	4	grau	4	dunkel	4	dunkel	3	dunkel	3
	schwarz	2	grün	1	hell	1	hell	2	grau	3	grau	2
	hell	1	schwarz	1	rot	1	grün	1	beige	1	grün	1
	rot	1	rot	1	kupfer	1	blass	1	grün	1	beige	1
	grün	1	hell	1	beige	1	beige	1				
					schwarz	1						
					grün	1						
		22		**24**		**28**		**27**		**25**		**23**
Form	rund	3	grob	4	grob	5	grob	4	grob	4	grob	7
	homogen	3	stückig	3	rund	3	rund	4	rund	3	rund	4
	glatt	2	homogen	2	zylindrisch	2	stückig	3	zylindrisch	2	zylindrisch	2
	zylindrisch	2	rund	2	stückig	2	zylindrisch	2	krümelig	1	kompakt	1
	kompakt	2	kompakt	2	kompakt	2	heterogen	1	heterogen	1	stückig	1
	grob	2	zylindrisch	2	heterogen	1	kompakt	1	stückig	1	homogen	1
	stückig	1	glatt	2	fein	1	krümelig	1	kompakt	1		
	bindig	1			homogen	1						
		16		**17**		**17**		**16**		**13**		**16**
Geruch	würzig	5	würzig	4	würzig	4	würzig	5	würzig	5	würzig	5
	arttypisch	4	arttypisch	3	Röstaromen	3	Röstaromen	3	arttypisch	4	arttypisch	4
	Röstaromen	3	Röstaromen	3	arttypisch	2	arttypisch	2	Röstaromen	3	fleischig	2
	herzhaft	1	fettig	1	nussig	1	neutral	1	herzhaft	1	Röstaromen	2
	fleischig	1	pflanzlich	1	herzhaft	1	pfeffrig	1	säuerlich	1	pfeffrig	1
	pfeffrig	1	herzhaft	1	fleischig	1	herzhaft	1	fleischig	1	süßlich	1
					pfeffrig	1	säuerlich	1	Bratgeruch	1	mild	1
					salzig	1	deftig	1	erdig	1	herzhaft	1
					pflanzlich	1					säuerlich	1
					fade	1					deftig	1
											nussig	1
		15		**13**		**16**		**15**		**17**		**20**
Geschmack	salzig	5	salzig	6	salzig	5	salzig	4	salzig	4	würzig	5
	würzig	3	arttypisch	3	würzig	4	würzig	4	würzig	4	salzig	3
	arttypisch	3	pfeffrig	2	nussig	2	nussig	3	nussig	3	nussig	3
	pfeffrig	2	würzig	2	Majoran	2	pfeffrig	2	pfeffrig	2	bitter	2
	fettig	1	erdig	1	arttypisch	2	fleischig	2	fleischig	2	scharf	2
	sauer	1	fleischig	1	scharf	1	erdig	1	Lupine	1	flesichig	2
	Majoran	1	sauer	1	mild	1	neutral	1	scharf	1	erdig	1
	fleischig	1	Majoran	1	sauer	1	Röstaromen	1	fettig	1	Röstaromen	1
			nussig	1	pfeffrig	1	Majoran	1	Majoran	1	pfeffrig	1
					fleischig	1	scharf	1	erdig	1	Majoran	1
					Röstaromen	1	Lupine	1	süßlich	1	muffig	1
							arttypisch	1	arttypisch	1	arttypisch	1
		17		**18**		**21**		**22**		**22**		**23**
Textur	krümelig	4	krümelig	4	krümelig	3	trocken	5	krümelig	4	trocken	5
	trocken	2	trocken	4	trocken	3	krümelig	4	trocken	3	krümelig	5
	grob	2	fest	2	kompakt	2	stückig	3	körnig	3	grob	2
	saftig	2	homogen	1	stückig	1	zäh	1	grob	2	zäh	1
	homogen	2	zäh	1	grob	1	fest	1	stückig	1	stückig	1
	bissig	1	kompakt	1	hart	1	belegend	1	saftig	1	belegend	1
	fettig	1	belegend	1	faserig	1	sandig	1	belegend	1	hart	1
	faserig	1	faserig	1	belegend	1	grob	1	zäh	1	mehlig	1
	belegend	1	fettig	1	fest	1			homogen	1		
	kompakt	1	grob	1	saftig	1						
	fest	1			homogen	1						
		18		**17**		**16**		**17**		**17**		**17**
		88		**89**		**98**		**97**		**94**		**99**

Abbildung 32: Sensorik-Ergebnisse des Hauptversuches (Eigene Darstellung)

Produkt	Menge	Proteingehalt %	Proteingehalt	Proteinanteil
Lupine	10,00	0,3	3,20	0,152
Nuss	52,31	0,2	11,61	0,552
Bauch	34,87	0,2	6,21	0,295
Gesamt	97,18	0,72	21,02	1,00

	Lupine	Nuss	Bauch	Mix	Referenz	AAS		PDCAAS
Histidin	24,84	45,05	44,94	41,94	20	2,10	1	
Isoleucin	40,34	57,66	57,3	54,92	32	1,72	1	
Leucin	68,16	74,32	87,64	77,32	66	1,17	1	
Lysin	43,19	100	100	91,35	57	1,60	1	
Methionin + Cystein	27,44	46,4	46,07	43,42	27	1,61	1	
Phenylalanin + Tyrosin	68,16	85,59	85,39	82,88	52	1,59	1	
Threonin	30,81	56,76	56,74	52,80	32	1,65	1	
Thryptophan	6,38	13,51	13,48	12,42	8,5	1,46	1	
Valin	35,91	64,86	87,08	67,01	43	1,56	1	
								0,935
Verdaulichkeit	0,91	0,94	0,94	0,935				

Produkt	Menge	Proteingehalt %	Proteingehalt	Proteinanteil
Lupine	0,00	0,0	0,00	0,000
Nuss	58,31	0,2	12,94	0,652
Bauch	38,87	0,2	6,92	0,348
Gesamt	97,18	0,40	19,86	1,00

	Lupine	Nuss	Bauch	Mix	Referenz	AAS		PDCAAS
Histidin	0	45,05	44,94	45,01	20	2,25	1	
Isoleucin	0	57,66	57,3	57,53	32	1,80	1	
Leucin	0	74,32	87,64	78,96	66	1,20	1	
Lysin	0	100	100	100,00	57	1,75	1	
Methionin + Cystein	0	46,4	46,07	46,29	27	1,71	1	
Phenylalanin + Tyrosin	0	85,59	85,39	85,52	52	1,64	1	
Threonin	0	56,76	56,74	56,75	32	1,77	1	
Thryptophan	0	13,51	13,48	13,50	8,5	1,59	1	
Valin	0	64,86	87,08	72,60	43	1,69	1	
								0,940
Verdaulichkeit		0,94	0,94	0,94				

Abbildung 33: Excel-Berechnungen der PDCAAS-Werte (Eigene Darstellung)

pro 100 g		Lupin	S2	S4
kcal	**Energie**	355	106	261
g	**Fett**	6,38	1,9	21,1
mg	Palmitinsäure	414	470	5010
mg	Stearinsäure	132	220	3690
mg	Arachinsäure	34	0	55
mg	Behensäure	162	0	0
mg	Myristinsäure	0	25	300
mg	Margarinsäure	0	0	62
g	**Fetts. Gesamt**	0,742	0,715	9,117
g	**Kohlenhydrate**	35,9	0	0
g	Zucker	0	0	0
g	Ballaststoffe	13,2	0	0
g	**Eiweiß**	32	22,2	17,8
g	**Salz**	0,1525	0,18	0,1475

0 % Variante		Lupine	S2	S4	Summe	kJ
kcal	**Energie**	0,00	61,81	101,45	163,26	683,08
g	**Fett**	0,00	1,11	8,20	9,31	
g	**ges.**	0,00	0,42	3,54	3,96	
g	**Kohlenh.**	0,00	0,00	0,00	0,00	
g	**davon Zucker**	0,00	0,00	0,00	0,00	
g	**Ballaststoffe**	0,00	0,00	0,00	0,00	
g	**Protein**	0,00	12,94	6,92	19,86	
g	**Salz**	0,00	0,10	0,06	1,81	

10% Variante		Lupine	S2	S4	Summe	kJ
kcal	**Energie**	13,09	55,45	91,01	159,55	667,55
g	**Fett**	0,24	0,99	7,36	8,59	
g	**ges.**	0,03	0,37	3,18	3,58	
g	**Kohlenh.**	1,32	0,00	0,00	1,32	
g	**davon Zucker**	0,00	0,00	0,00	0,00	
g	**Ballaststoffe**	0,49	0,00	0,00	0,49	
g	**Protein**	1,18	11,61	6,21	19,00	
g	**Salz**	0,01	0,09	0,05	1,80	

Menge mit Faktor	3,69
	0,0369

Abbildung 34: Excel-Berechnungen der Nährwerte (Eigene Darstellung)

n	Wolf	TM 30 s	TM 60 s	Mehl
11	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Panelist 1	5	7	6	6
Panelist 2	7	7	8	8
Panelist 3	8	7	7	8
Panelist 4	5	6	7	7
Panelist 5	9	8	7	6
Panelist 6	5	6	7	8
Panelist 7	7	8	5	4
Panelist 8	5	7	4	6
Panelist 9	7	6	8	7
Panelist 10	3	2	1	3
Panelist 11	7	8	7	6
Summe	68	72	67	69
Mittelwert	6,18	6,55	6,09	6,27
SD	1,72	1,69	2,07	1,62

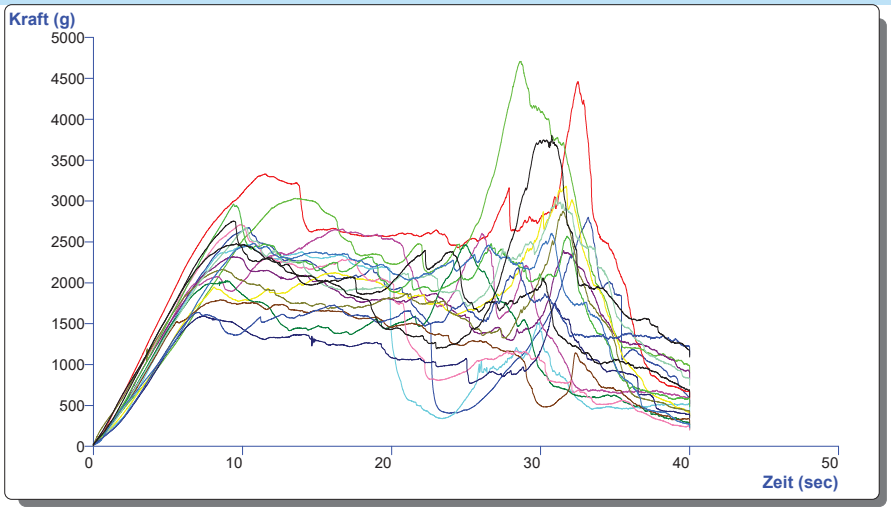
n	0%	10%	15%	20%	25%	30%
9	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**
Panelist 1	8	6	8	4	8	4
Panelist 2	7	7	6	7	4	4
Panelist 3	8	7	6	8	6	7
Panelist 4	7	6	7	5	5	3
Panelist 5	7	7	7	3	8	3
Panelist 6	8	7	5	5	3	5
Panelist 7	8	8	7	8	6	6
Panelist 8	7	6	7	8	8	6
Panelist 9	8	7	7	7	8	6
Summe	68	61	60	55	56	44
Mittelwert	6,18	5,55	5,45	5,00	5,09	4,00
SD	0,53	0,67	0,87	1,90	1,92	1,45

Abbildung 35: Excel-Berechnungen der Beliebtheiten von Vor- und Hauptversuch (Eigene Darstellung)

Friday, 30 January, 2026 11:06 AM

Textur Bratwurst

TEXTURE EXPONENT32 REPORT

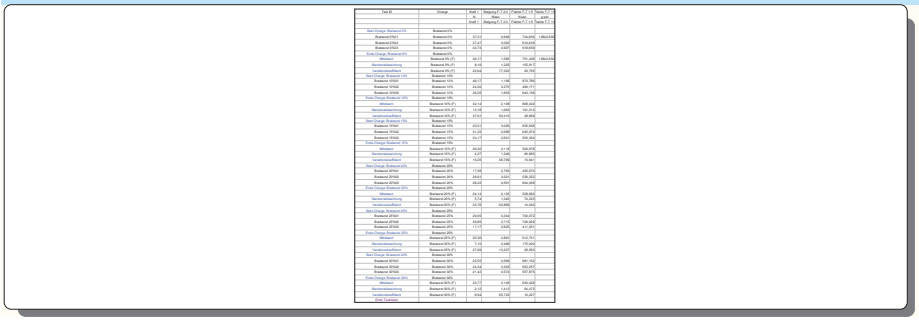


Dateiname: Bratwurst 0%01

T.A SETTINGS	PRODUCT PARAMETERS
Test Art: Druck	Charge: Bratwurst 0%
Return to Start (Set Dist)	Gemessen am: Dienstag, 27. Januar 2026 14:54:25
Vor Geschwindigkeit: 2,00 mm/sec	Gemessen von: Studierende
Test Geschwindigkeit: 1,00 mm/sec	Messpunkte pro Sekunde: 250
Rück Geschwindigkeit: 10,00 mm/sec	Werkzeug: HDP/WBR ; WARNER BRATZLER RECTANGULAR NOTCH BLADE
Weg: 40,000 mm	Kapazität Kraftmesszelle : 50000g
Auslöse Kraft: 20,0 g	

Notes

RESULTS



1 of 1

Abbildung 36: Texturanalyse Report-Datei (Eigene Darstellung)

Literaturverzeichnis

Bergner, R. (2025). *Biologische Wertigkeit*. Von biologische-wertigkeit.de: https://www.biologische-wertigkeit.de/pdcaas.php abgerufen

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, S. 155-159.

de Groot, H. (2011). *Ernährungswissenschaft.* Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.

Decagon Devices Inc. (2026). *AquaLab model CX-2 Operators Manual Version 3.0.* Von https://fs.ntou.edu.tw/var/file/73/1073/attach/81/pta_53975_2920412_54474.pdf abgerufen

Deutsches Institut für Normung e. V. (2014). *DIN 10964:2014-11 Sensorische Prüfverfahren - Einfach beschreibende Prüfung.* Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DLG. (Juni 2011). *Statistische Methoden in der Sensorik (Teil 2): "Verbrauchertests".* Von https/www.dlg.org/fileadmin/downloads/Expertenwissen/lebensmittelsensorik/2011_6_Expertenwissen_Verbrauchertests abgerufen

Elmadfa, I., & Fritzsche, D. (2024). *Unsere Lebensmittel; Wissen, was drin steckt und gesund macht.* Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Elmadfa, I., & Leitzmann, C. (2023). *Ernährung des Menschen.* Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. (25. Oktober 2011). *Verordnung (EU) Nr. 1169/2011.* Amtsblatt der Europäischen Union: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg.

FAO. (2013). *Diatery protein quality evaluation in human nutrition.* FAO. Rom: FAO.

HunterLab. (2026). *User´s Manual for ColorFlex EZ.* Von https://hunterlab-prod.s3.amazonaws.com/media/documents/users_manual_for_colorflex_ez.pdf abgerufen

Kompetenzzentrum für Ernährung (kErn). (2018). *kErn.* Von kern.bayern.de: https://www.kern.bayern.de/mam/cms03/shop/kompendien/dateien/kompendium_huelsenfruechte_r.pdf abgerufen

(2022). *Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse.* Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission. Bonn: BMEL.

Mariotti, F., Pueyo, M. E., Tomé, D., & Mahé, S. (2002). *Cambridge.org.* Von cambridge.org: https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/9C80719C6A0A9DD107EB333E564E53EA/S0007114502000648a.pdf/the-bioavailability-and-postprandial-utilisation-of-sweet-lupin-lupinus-albus-flour-protein-is-similar-to-that-of-purified-soya abgerufen

McClements, D. J., Grossmann, L., & Wagemans, A. M. (2024). *Pflanzliche Lebensmittelalternativen.* Cham: Springer Nature Switzerland AG.

Sartorius. (2026). *Betriebsanleitung Moisture Analyzer Modell MA35.* Von https://www.sartorius.com/download/1207524/manual-moisture-analyzer-ma35m-230n-ma35m-115n-wma6030-d-pdf-23067--data.pdf abgerufen

Sielaff, H. (1996). *Fleischtechnologie.* Hamburg: B. Behr´s Verlag GmbH & Co.

Souci, S. W., Fachmann, W., & Kraut, H. (2024). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwert-Tabellen.* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit versichere ich, Florian Wedtrat, eidesstattlich, dass ich die vorliegende *Bachelorarbeit* mit dem Titel: *„Entwicklung einer frischen groben Bratwurst mit partieller Substitution des Fleischanteils durch Hülsenfrüchte“* eigenständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe.

Übernahmen, die wörtlich, dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sowie Übernahmen aus Sprachgenerierungsmodellen und Informationssystemen sind als solche kenntlich gemacht und mit Quellenverweisen versehen. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, 24.02.2026