



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaft

Studiengang Lebensmitteltechnologie

Bachelorarbeit zum Thema

**Entwicklung einer gebrühten Bratwurst
mit einer Teilsubstitution des Fleisches durch Lupine
(*Lupinus albus*)**

Vorgelegt von: Karl Kersten

Betreuer: Prof. Dr. Marco Ebert

Prof. Dr. Jörg Meier

URN: urn: nbn : de : gbv : 519-thesis: 2026-0020-4

Neubrandenburg, 14.04.2026

Abstract

The aim of this bachelor's thesis was to develop a cooked sausage in which a portion of pork is replaced by white lupin (*Lupinus albus*). The study focused on the development of a hybrid product and the effects of plant-based substitution on technological, sensory, and nutritional properties. The results show that increasing lupin content significantly affects product characteristics. With higher substitution levels, pH value, dry matter, and batter firmness decrease, while water activity and cooking loss increase. In addition, the products become darker and more yellow due to the functional properties of plant proteins, higher water content, and carotenoids. Sensory evaluation revealed decreasing consumer acceptance with increasing lupin content. While 0% and 10% lupin meet quality expectations, 20% requires optimization and 30% no longer meets the expected quality of cooked sausages. Texture is particularly affected, with products perceived as drier, more fibrous, and less juicy, alongside reduced firmness and meat flavor. Nutritionally, lupin reduces fat content, while protein digestibility slightly decreases but remains high overall. In conclusion, the production of lupin-containing cooked sausage is feasible. A substitution level of about 10% represents the best compromise between sensory acceptance and sustainability, while higher levels require further optimization.

Verzeichnis für verwendete Abkürzungen und Symbole

Kürzel	Bedeutung
AAA	aromatic amino acids (Phenylalanin + Tyrosin)
AAS	Amino Acid Score
BEFFE	bindegewebeseiweißfreies Fleischeiweiß
BEFFE im FE	bindegewebeseiweißfreies Fleischeiweiß im Fleischeiweiß
BMLEH	Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat
BSA	Bundessortenamt
BZfE	Bundeszentrum für Ernährung
BZL	Bundesinformationszentrum für Landwirtschaft
CVB	niederländisches Zentralbüro für Futtermittel
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLMBK	deutsche Lebensmittelbuchkommission
DSV	deutsche Saatveredelung AG
FAO	Erährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
GDCh	Gesellschaft Deutscher Chemiker
GFL	Gesellschaft zur Förderung der Lupine
lim.	limitierend
LS	Leitsatznummer
SAA	Sulphur Aminos Acids (Methiodin + Cystein)
SFK	Schweinefleischklasse
TM	Trockenmasse
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen
WBAE	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz

Kürzel	Bedeutung	Einheit
-	Brennwert	[kcal]
a_w	Wasseraktivität	-
F	Kraft	[N]
GdH	Grad deutscher Härte	°dH
m	Masse	[mg; g; kg]
p	Wasserdampfdruck	[Pa]
PD	Protein Digestibility	[%]
PDCAAS	Protein Digestibility Corrected Aminos Acid Score	[%]
s	Strecke	[mm; m]
t	Zeit	[s; min; h]

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Verzeichnis für verwendete Abkürzungen und Symbole.....	3
1. Einleitung.....	6
2. Stand der Wissenschaft.....	7
2.1. Brühwurstherstellung	7
2.2. Rechtliche Regelungen für gebrühte Bratwürste	8
2.3. Pflanzliche Teilsubstitution in Fleischprodukten	8
2.4. Rohwaren.....	11
2.4.1. Lupine	11
2.4.2. Schweinefleisch.....	13
2.4.3. Technologische Hilfsstoffe.....	14
2.5. Analysemethoden.....	14
2.5.1. a_w -Wert	14
2.5.2. Farbmessung	15
2.5.3. Masseveränderung beim Garprozess	16
2.5.4. pH-Wert	16
2.5.5. Texture Analyser	16
2.5.6. Trockenmasse.....	16
2.6. Sensorik.....	17
2.6.1. Einfach beschreibende Prüfung	17
2.6.2. Beliebtheitsprüfung.....	17
3. Material und Methoden	18
3.1. Nährwerte beheimateter Leguminosen.....	18
3.2. Versuchsplanung.....	20
3.3. Geräte.....	21
3.4. Analytik	21
3.4.1. a_w -Wert	22
3.4.2. Farbmessung	22
3.4.3. Masseveränderung beim Garprozess	22
3.4.4. pH-Wert	22
3.4.5. Texture Analyzer	23
3.4.6. Trockenmasse.....	23
3.5. Rohwaren und Rezepturen	24
3.6. Versuchsablauf	26
4. Ergebnisse.....	28

4.1. Laboranalysen.....	28
4.1.1. Vorversuch Quellen der Lupine	28
4.1.2. pH-Wert	29
4.1.3. a_w -Wert	30
4.1.4. Garverlust	30
4.1.5. Trockenmasse	30
4.1.6. Farbmessung	31
4.1.7. Texture Analyser	32
4.2. Sensorische Analyse.....	33
4.2.1. Einfach beschreibende Prüfung	34
4.2.2. Beliebtheitsprüfung.....	35
4.3. Nährwertberechnung.....	39
5. Auswertung und Diskussion	41
5.1. Technologische Analyse	41
5.2. Sensorik	44
5.3. Fazit	45
6. Zusammenfassung.....	46
7. Anhang.....	47
Quellenverzeichnis.....	60
Tabellenverzeichnis	64
Abbildungsverzeichnis	65
Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....	66

1. Einleitung

Die Zunahme des Umweltbewusstseins und das steigende Bedürfnis einer nachhaltigen Lebensweise bei der Weltbevölkerung nimmt vermehrt Einfluss auf die Ernährungsweise der Menschen. Eine pflanzliche Ernährung ist nachweislich ressourcenschonender. Die Folge ist nicht nur der Anstieg von Vegetariern und Veganern in der Gesellschaft, sondern auch ein Anstieg an Flexitariern, die nicht gänzlich auf den Konsum von Fleischprodukten verzichten, ihn aber bewusst reduzieren. Die Umstellung der Ernährung ist häufig ein langwieriger Prozess, da bei etablierten Essgewohnheiten das Bedürfnis nach den gewohnten Produktgruppen nicht sofort verschwindet. Daraus resultiert eine steigende Nachfrage an Fleischersatzprodukten, welche das bestehende Bedürfnisse nach fleischartigen Produkten bedient, ohne die eigen gesetzten moralischen Ansprüche, oft Nachhaltigkeit oder Tierwohl, zu verletzen. Auch wenn der Markt für Fleischersatzprodukte wächst und das Produktportfolio stetig erweitert wird, gibt es bei vielen Fleischwaren noch keine akkurate Imitation, bei denen der Kunde den sensorischen Unterschied nicht feststellen kann. Vielen Konsumenten fällt daher der vollständige Verzicht auf Fleischprodukte schwer. Hybridprodukte sind ein Kompromiss für diesen Konflikt. Im Kontext zu Fleischerzeugnissen ist ein Hybridprodukt ein fleischhaltiges Lebensmittel, bei dem ein Anteil des Fleisches durch nicht fleischliche Bestandteile ersetzt wird. Die qualitätgebenden Eigenschaften der Fleischprodukte bleiben erhalten, doch im Vergleich zu reinen Fleischprodukten bieten Hybridprodukte in abgeschwächter Form die Vorteile von Fleischersatzprodukten. Der Fleischkonsum der Konsumenten von Hybridprodukten wird verringert, ohne die Ernährungsgewohnheiten anpassen zu müssen. Mit der Entwicklung einer anteilig mit weißen Lupinen versehenen gebrühten Bratwurst soll das Produktportfolio des wachsenden Marktes an Hybridprodukten vielfältiger gestaltet werden.

Ähnlich wie die Sojabohne ist die Lupine ein geeigneter Rohstoff als Substitut für Fleischerzeugnisse und für die Herstellung von Fleischimitaten. Die Lupine wird in Deutschland im Vergleich zu anderen Leguminosen in geringen Mengen angebaut. Einer der Hauptgründe ist ein fehlender Absatzmarkt im größeren Handel für die Landwirte. Die Entwicklung von lupinehaltigen Lebensmitteln bietet die Grundlage einen Absatzmarkt zu schaffen. Sollten Produkte dieser Art etabliert werden können, wird dadurch der Anbau von Lupinen in Deutschland gefördert. Mit einem wachsenden Lupinenanbau entsteht eine höhere Biodiversität auf landwirtschaftlichen Anbauflächen. Zudem kann die Produktpalette für Fleischalternativen und fleischreduzierte Produkte auf dem europäischen Markt erweitert werden. Diese Arbeit soll dazu einen Beitrag leisten.

2. Stand der Wissenschaft

2.1. Brühwurstherstellung

Für die Herstellung von Brühwürsten werden die tierischen Bestandteile gewolft, gekuttert und gegart. Das Wolfen ist ein Zerkleinerungsprozess, bei dem das zu zerkleinernde Material durch eine Pressschnecke zu einer Lochscheibe gefördert wird. Ein rotierendes Kreuzmesser vor der Lochscheibe zerkleinert das Material mittels Scherenschnitt (Woltersdorf, Klettner, & Wirth, 1984). Mit dem sich aufbauenden Druck durch die Pressschnecke beginnt die Schneidphase. Das Material wird durch die Öffnungen der Lochscheibe gefördert. Die Öffnungen der Lochscheiben variieren für gewöhnlich zwischen 1 und 20 mm (Sielaß, 1996). Die Größe der Öffnungen der Lochscheibe bestimmt den Zerkleinerungsgrad des geförderten Materials (Woltersdorf, Klettner, & Wirth, 1984).

Das Kuttern ist ein Prozess der Zerkleinerung und Durchmischung und notwendig für die Herstellung von bindigem und homogenem Brät, was zu einer Vielzahl an Fleischprodukten weiterverarbeitet werden kann. Angestrebt wird eine möglichst intensive Zerkleinerung bei niedrigen Temperaturen zwischen 0 und 10 °C (Woltersdorf & Klettner, 1984). Die Zerkleinerung bewirkt einen Zellaufschluss der Proteine. Aktomyosin wird frei und in Aktin und Myosin gespalten, wodurch das Wasserbindevermögen erhöht wird (Latz, 2008). Grundsätzlich werden drei Kutterverfahren angewendet: das Magerbrätverfahren, das Fettbrätverfahren und das All-In-Verfahren. Für die Herstellung gebrühter Bratwürste ist das Magerbrätverfahren aus technologischer Sicht am besten geeignet (Latz, 2008). Eine Brättemperatur von 14 °C sollte beim Kutterungsprozess ohne Phosphatzugabe nicht überschritten werden. Bei der Zugabe von Phosphat sind geringfügig höhere Brättemperaturen möglich (Woltersdorf, Klettner, & Wirth, 1984).

Bei fettreduzierten Bratwürsten sollte durch einen steigenden Anteil an Eigenwasser die Eiszugabe reduziert werden. Temperaturbedingt wird dadurch die Zerkleinerungszeit im Kutterprozess reduziert und reicht nicht mehr aus, um die Proteine des steigenden Magerfleischanteils ausreichend aufzuschließen. Dadurch wird das Wasserbindungsvermögen vermindert. Der Einsatz von teilgefrorenem Fleisch würde die Kutterdauer wieder verlängern. Bei fettreduzierten Bratwürsten entsteht ein festerer gummiartiger Biss, der von den Verbrauchern meist nicht akzeptiert wird (Brauer, 2019).

Beim Garen von Brühwürsten sind zwei Ziele erstrebenswert. Es soll ein stabiles koaguliertes Eiweißgerüst entstehen, in dem Wasser- und Fettpartikel bei erneuter Erhitzung gebunden bleiben. Dieses Ziel wird schon bei einer Kerntemperatur von knapp unter 70 °C erreicht. Zudem wird eine längere Haltbarkeit gewährleistet (Latz, 2008). Für die Gewährleistung eines sicheren Produktes wird der P-Wert aus dem Verlauf der Kerntemperatur beim Garprozess errechnet. Als ideal hat sich eine Kerntemperatur von 72 °C erwiesen (Brauer, 2019). Ab 50 °C werden die Hydrathüllen der Proteine zerstört. Es kommt zu Anlagerungen zwischen den Proteinen, sogenannten Flocken. Es entstehen Hohlräume zwischen den Flocken. Mit zunehmender Größe der

Proteinflocken nimmt die Größe der Hohlräume zu. In den Hohlräumen können sich Wasser und Fettpartikel ansammeln, was zu einer Qualitätsminderung der Brühwurst führen kann. Daher sollen die Proteinflocken möglichst klein ausfallen. Dafür sollte eine Kerntemperatur von 75 °C nicht überschritten werden und die Erhitzungsgeschwindigkeit sollte möglichst langsam vonstattengehen (Sielaff, 1996).

2.2. Rechtliche Regelungen für gebrühte Bratwürste

Orientierungshilfen und Beschreibungen der herkömmlichen Beschaffenheit sind in den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse zu finden. Nach den Leitsätzen sind Wurstwaren nach LS 1.3.2 „Würste und wurstartige Erzeugnisse [...] bestimmte [...] schnittfeste [...] Menge aus zerkleinertem Fleisch und Fettgewebe [...]. Sie gelangen geräuchert oder ungeräuchert in Hüllen in den Verkehr“. Brühwürste sind nach LS 1.3.2.2 „[...] hitzebehandelte Wurstwaren, bei denen rohes Fleisch [...] aufgeschlossen wurde und deren Muskeleiweiß [...] koaguliert ist, sodass die Erzeugnisse bei erneutem etwaigem Erhitzen schnittfest bleiben.“ (BMLEH, 2025).

Für den Begriff „Bratwurst“ (LS: 2.4.2.1.11) gelten die folgenden rechtlichen Regelungen. Als Ausgangsmaterial wird: grob entfettetes Schweinefleisch (LS: 1.2.1.2.2), fettgewebereiches Schweinefleisch (LS: 1.2.1.2.3) und Speck (LS: 1.1.1.2.2) verwendet. Die Wurst ist zum Warmverzehr im gebratenen oder gebrühten Zustand gedacht. Das Brät ist fein zerkleinert und nicht umgerötet. Der BEFFE-Wert muss mindestens 8 % und das BEFFE im FE muss chemisch mindestens 75 Vol-% betragen. Das Zusetzen von anderen nicht verkehrsüblichen Lebensmitteln muss gekennzeichnet werden (BMLEH, 2025).

Für die Bezeichnung „fettreduziert“ muss, bei gleicher Trockenmasse, mindestens 30 % weniger Fett enthalten sein, als in herkömmlichen Bratwürsten (Brauer, 2019). Der durchschnittliche Fettgehalt in gebrühten Bratwürsten beträgt 26 % (GDCh, 2025).

2.3. Pflanzliche Teilsubstitution in Fleischprodukten

Die Definition von Hybridprodukten ist vielfältig, da mehrere Bereiche erfasst werden. Grundlegend werden bei Hybridprodukten Zutaten unterschiedlicher Herkunft kombiniert. In diesem Kontext sind tierisch-pflanzliche Hybridprodukte gemeint. In der internationalen Literatur werden sie auch als „Blended Products“ bezeichnet. Neben der erfolgreichen Etablierung von beispielsweise Streichfetten, deren Mischung aus tierischen und pflanzlichen Fetten eine bessere Streichfähigkeit ermöglicht, wurden pflanzliche Produkte ohne Deklaration als Streck- oder Füllmittel eingesetzt (BMLEH, 2025).

Brühwürste bilden den größten Teil an Fleischerzeugnisses auf dem deutschen Markt (Rimbach, 2025). Fleisch und Fleischerzeugnisse sind die Produktgruppe, die im mehrjährigen nationalen Kontrollplan am strengsten kontrolliert werden. Am häufigsten wird die Kennzeichnung oder Aufmachung beanstandet (BVL, 2019). Nicht nur eine

korrekte Deklaration, sondern auch eine transparente Kommunikation mit den Konsumenten ist von hoher Bedeutung, da dieser dem Produkt häufig skeptisch gegenübersteht und eine Pflanzensubstitution als qualitätsmindernd wahrnehmen kann. Gerade vor einigen Jahren wurde medial schnell von Verbrauchertäuschung gesprochen (Bild.de, 2013) (Landwirtschaftliches-Wochenblatt, 2009) (Hessische/Niedersächsische-Allgemeine, 2009).

Mittlerweile gibt es einen klaren Trend zu einer flexitarischen Ernährungsweise in Deutschland, die unter anderem auf einem verstärkten Bewusstsein für Nachhaltigkeit und Tierwohl beruht. Etwa ein Drittel der befragten Personen gab an, aktiv weniger Fleisch zu konsumieren (Strassner & Wirth, 2024).

In einer aktuellen europaweiten Studie gaben 29 % befragter Omnivoren an, gelegentlich Fleischersatzprodukt zu kaufen und 66 % befragter Flexitarier (Bayudan, et al., 2025). In einer deutschlandweiten Studie gaben 37 % befragter Omnivoren an, gelegentlich Fleischersatzprodukte zu kaufen und 78 % befragter Flexitarier (Spicher, Dressel, Schweiggert-Weisz, Gola, & Eisner, 2025). Mit zunehmender Akzeptanz von pflanzlichen Alternativen ist davon auszugehen, dass sich auch die Wahrnehmung von Hybridprodukten deutlich verändert hat.

Im Rahmen einer Übersichtsstudie wurden die wissenschaftlichen Artikel von Hybrid-Fleischprodukten in einem Zeitraum von 2014 bis 2024 untersucht. Einige Erkenntnisse sind: eine steigende Anzahl an Publikationen pro Jahr über Hybridprodukte in Science Direct und Web of Science; Aspekte wie Umweltbelastung, Nährwerte, Zusatzstoffe und Tierwohl sind den Verbrauchern in Industrieländern vermehrt wichtig. In den meisten Studien werden bereits vorverarbeitete pflanzliche Produkte (Mehle, Extrudate oder Isolate) als Substitut verwendet (Olewnik-Mikolajewska, Guzek, Glabska, & Gutkowska, 2024).

Die Planetary health diet ist eine Berechnung, wie eine zukünftige Weltbevölkerung von 10 Milliarden Menschen innerhalb der ökologischen Belastungsgrenze, ausgewogen ernährt werden kann. Dabei sollen täglich 75 g Leguminosen verzehrt werden (Rockström, et al., 2025).

Die DGE zeigt mit dem Ernährungskreis, wie eine nachhaltige und ausgewogene Ernährung aussehen kann. Darin heißt es: „Ökologisch nachhaltig zu essen, bedeutet sich mit Mahlzeiten aus überwiegend pflanzlichen Lebensmitteln zu ernähren.“ Das Eiweiß aus Hülsenfrüchten kombiniert mit Getreide oder Kartoffeln ist eine gute Alternative zu tierischen Proteinquellen. Es wird eine Mindestmenge von 125 g gegarten Hülsenfrüchten pro Woche empfohlen. Bei einer fleischlosen Ernährung wird empfohlen, eine höhere Menge Hülsenfrüchte zu konsumieren. Fett mit hohen Anteilen an gesättigten Fettsäuren haben ungünstige Wirkungen, besonders auf die Blutfette (DGE, 2026).

Nach Einschätzungen des WBAE wird eine Umstellung zu einer nachhaltigen Ernährung schrittweise erfolgen. Für eine Ernährungsumstellung wird die 3-R-Strategie (Reduce-Remix-Replace) empfohlen (BZfE, 2025). So kann laut WBAE der Ernährungswandel in

allen Bevölkerungsgruppen ermöglicht werden. Der erste Schritt „Reduce“ bezieht sich auf den Verzehr geringerer Fleischmengen durch kleinere Portionen. In der zweiten Phase „Remix“ werden vermehrt tierische und pflanzliche Zutaten kombiniert bzw. Teile des Fleisches durch Alternativen ersetzt. Bis beim letzten Schritt „Replace“ tierische Produkte vollständig durch Alternativen ersetzt werden. In den Umstellungsschritten „Reduce“ und „Remix“ können fleischliche Hybridprodukte Anwendung finden (BMLEH, 2025).

Bei Fleischersatzprodukten tritt häufig der sogenannte Halo-Effekt auf: Konsumenten nehmen diese Produkte oft als gesünder wahr, als sie tatsächlich sind. In diesem Zusammenhang gewinnen sogenannte Hybridprodukte zunehmend an Bedeutung. Diese stellen einen Kompromiss zwischen Nachhaltigkeit und Produktqualität dar, da sie durch einen reduzierten Fleischanteil den ökologischen Fußabdruck senken, gleichzeitig aber weniger stark verarbeitet sind als rein pflanzliche Alternativen. Zudem erhöht die sensorische Ähnlichkeit zu Fleisch die Akzeptanz bei Konsumenten, im Vergleich zu vollständig pflanzlichen Produkten (Olewnik-Mikolajewska, Guzek, Glabska, & Gutkowska, 2024).

Hybridprodukte bieten mehrere potenzielle Vorteile. Sie kombinieren einen vertrauten Geschmack und eine bekannte Textur mit teilweise verbesserten Nährwerten, zum Beispiel mit einem höheren Ballaststoffgehalt. Darüber hinaus weisen sie im Vergleich zu reinen Fleischprodukten einen geringeren CO₂-Fußabdruck auf, was dem steigenden Nachhaltigkeitsbewusstsein vieler Verbraucher entspricht. Allerdings bestehen technologische Herausforderungen, insbesondere bei der Interaktion von Fleisch- und Pflanzenproteinen. Während Fleischproteine gute Emulgier- und Gelbildungseigenschaften sowie eine hohe Wasser- und Fettbindung aufweisen, können Pflanzenproteine diese Netzwerkbildung stören. Dies führt zu Veränderungen in der Textur und zu einer geringeren Emulsionsstabilität. In der Praxis zeigt sich, dass eine pflanzliche Substitution von etwa 25–30 % meist noch akzeptabel ist. Darüber hinaus können auch farbliche Veränderungen auftreten, die insbesondere bei Wurstwaren die Verbraucherakzeptanz negativ beeinflussen. Eine transparente und positive Kommunikation kann hier jedoch entgegenwirken (Grasso & Goksen, 2023).

Diese technologischen Effekte zeigen sich auch in konkreten Untersuchungen. So führte der Einsatz von 20 % Erbsenproteinextrudat zu einem geringeren Bindevermögen und einer weicheren Produktstruktur, zudem wurden vermehrt Gelansammlungen beobachtet. Farbabweichungen waren dabei nur für geschulte Testpersonen erkennbar. Bei einem pflanzlichen Anteil von 50 % traten hingegen deutliche Qualitätsprobleme auf, wie Lufteinschlüsse sowie eine unzureichende Fett- und Wasserbindung (Broucke, Duquenne, Witte, Baune, & Lammers, 2022).

Neben den technologischen Eigenschaften spielt die sensorische Wahrnehmung eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz. In einer Studie über Bratwürste und Burgerpatties wurden jeweils Varianten aus reinem Fleisch, rein pflanzliche und hybride Produkte sensorisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Hybridprodukte ähnlich gut akzeptiert werden wie reine Fleischprodukte, während rein pflanzliche Alternativen

schlechter abschnitten. Hybridwürste wurden besser bewertet als Hybrid-Burgerpatties, da Burgerpatties mit pflanzlichem Anteil Feuchtigkeit und Fett schlechter binden konnten, als teilweise pflanzliche Bratwürste. Der wichtigste Faktor für die Akzeptanz ist der „typische Fleischgeschmack“. Negative Einflüsse auf die Bewertung von Bratwürsten sind unter anderem Fehlgerüche, eine harte oder schwer schneidbare Textur sowie ein stark verarbeitet wirkendes Erscheinungsbild. Auch trockene Textur, trockenes Aussehen und ein insgesamt „hochverarbeitetes“ Erscheinungsbild führten zu geringeren Bewertungen. Besonders kritisch wurden Abweichungen von erwarteten Eigenschaften wie Fleischgeschmack, Fleischfarbe und Saftigkeit wahrgenommen. (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017).

2.4. Rohwaren

2.4.1. Lupine

Die Lupine, auch Wolfsbohne genannt, gehört zu der Gattung der Schmetterlingsblütler. Es gibt ca. 450 Arten. Ihre Körner sind sehr reich an Eiweiß, mit günstiger Aminosäurezusammensetzung, und daher interessant für den Einsatz als Tierfutter und als Basis für Fleischalternativen. Ein hoher Gehalt an Alkaloiden hatte lange Zeit die wirtschaftliche Nutzung der Lupine gehemmt. Ab den 1930er Jahren konnten 3 Süßlupinenarten durch aufwendige Auslese nahezu bitterstofffrei entwickelt werden. Seitdem sind die gelbe Lupine (*Lupinus luteus*), die blaue Lupine (*lupinus angustifolius*) und die weiße Lupine (*Lupinus albus*) im europäischen Raum landwirtschaftlich relevant (Franke, 1997).

Bei der Süßlupine ist die Proteinzusammensetzung nicht so günstig, wie bei der Sojabohne, da einige essentielle, schwefelhaltige Aminosäuren nicht in ausreichenden Mengen gebildet werden. Die biologische Wertigkeit bei *Lupinus albus* liegt bei 60 %, bei der Sojabohne hingegen bei 67 %. Dafür sind in der Süßlupine keine Trypsinhemmer enthalten. Die Erträge von Süßlupinen schwanken stark zwischen 50 und 400 t pro ha (Schuster, 1998).

Knapp 80 % des Lupinenanbaus in Europa fand 2018 mit 154.000 ha Anbaufläche in Polen statt; zum Vergleich wurden im selben Jahr in Deutschland 23.00 ha Anbaufläche für Lupine genutzt (Wasner, Feitsmayr, Rudlstorfer, & Gerstl, 2020). Im Jahr 2024 wurden auf 26.100 ha Süßlupine in Deutschland angebaut und besitzt damit die kleinste Anbaufläche im Vergleich zu: Erbse (129.300 ha), Ackerbohne (61.700 ha) und Sojabohne (40.500 ha) (BZL, 2025). Dabei haben Süßlupine im Korn mit den höchsten Rohproteingehalt. Eine der wenigen proteinreichen Pflanzen, mit ähnlich hohem Proteingehalt in der Frucht, ist die Sojabohne (Franke, 1997) (Schuster, 1998).

Gegen den Anbau der Süßlupine sprechen: eine geringe Sortenentwicklung, zunehmende Schädlingsprobleme mit fehlendem Pflanzenschutz, kleiner Absatzmarkt und im Besonderen niedrige und stark schwankende Ernteerträge, gerade in Trockenjahren (Wasner, Feitsmayr, Rudlstorfer, & Gerstl, 2020). Gerade der fehlende Absatzmarkt ist ein starkes Argument für Landwirte, sich gegen den Lupinenanbau zu

entscheiden. Den dafür verantwortlichen staatlichen Institutionen ist dieses Problem bekannt. „Die Vier von hier“ ist eine staatlich finanzierte Absatzförderkampagne. Sie soll Wissen zu Körnerleguminosen vermitteln und das Image beim Verbraucher verbessern, um die Veränderung hin zu einer ausgewogenen und nachhaltigen Ernährung zu fördern (UFOP, 2026).

Vor dem Verzehr sollte die Lupine ausreichend gewässert werden, um die sensorische Wahrnehmung zu verbessern. Die vorhandenen Bitterstoffe werden reduziert und die Textur wird verbessert (Bleitgren, Gross, & Gross, 1979). Die Quellgeschwindigkeit ist unter anderem von der Wasserhärte und der Wassertemperatur abhängig. Bei höherer Temperatur und niedriger Wasserhärte steigt die Quellgeschwindigkeit. Bei einer Temperatur von 50 °C und höher nimmt die Quellgeschwindigkeit und die Wasserbindungskapazität wieder ab (Soloman, 2007). Der Grund ist die Umstrukturierung der enthaltenen Proteine (Bleitgren, Gross, & Gross, 1979).

Lupinen haben in vielen Lebensmittelgruppen potentielle Einsatzbereiche. Sie werden bereits in Tofu, Aufstrichen, Backwaren oder auch als Kaffeeersatz eingesetzt. Durch eine hohe Wasserbindungskapazität und guten Emulgierungseigenschaften eignen sich Lupinen gut für einen partiellen Einsatz in Backwaren. Die resultierenden Produkte weisen einen nussigen Geschmack auf und eine gelbere Farbe, bedingt durch die enthaltenen Carotinoide der Pflanze. Lupineneiweißkonzentrat kann für fett- und kalorienreduzierte Wurstprodukte genutzt werden (GFL, 2016).

Die Pflanzenkrankheit Anthraknose hat im 19-ten Jahrhundert den Lupinenanbau in Deutschland fast zum Erliegen gebracht (Schmidt & Langanky, 2020). 2019 wurde die erste anthraknosetolerante Sorte der weißen Lupine vom Bundessortenamt zugelassen (BZL, 2025) (UFOP, 2026). Von den europaweit 29 eingetragenen Sorten von *Lupinus albus* sind in Deutschland 5 für den wirtschaftlichen Anbau zugelassen (BSA, 2026). Auf dem deutschen Markt für Saatgut sind aktuell die zwei anthraknosetoleranten Sorten „Celina“ und „Frieda“ zu erwerben und werden empfohlen (DSV, kein Datum). Die Lupine ist eines der 13 Hauptallergene, was häufig eine getrennte Lagerung und Verarbeitung für die Lebensmittelhersteller erfordert (BZL, 2025). Das macht die Lupine im Vergleich zu anderen eiweißhaltigen Pflanzenstoffen in der Lebensmittelindustrie weniger attraktiv.

Der Anbau von Leguminosen bindet Luftstickstoff und speichert ihn an den Wurzeln im Erdreich, was den Einsatz von Stickstoffdünger erübrigt. Zusätzlich löst die Lupine gebundenen Phosphor aus dem Boden und lockert den verdichteten Boden durch die Pfahlwurzelbildung auf, was für einen Einsatz der Lupine als Zwischenfrucht spricht (Wasner, Feitsmayr, Rudlstorfer, & Gerstl, 2020). Mit dem Einsatz von Lupine kann die Variation der angebauten Pflanzen erhöht werden, was zum einen das Anbaurisiko bei vermehrten Wetterextremen insgesamt reduziert und zum anderen die Biodiversität und Blütenvielfalt auf den Feldern erhöht (Schmidt & Langanky, 2020).

2.4.2. Schweinefleisch

Für die Herstellung von gebrühter Bratwurst aus Schweinefleisch werden 3 standardisierte Schweinefleischklassen eingesetzt. Sie werden in Tabelle 1 aufgezählt. Die Schweinefleischklassen werden aufgrund ihrer unterschiedlichen technologischen Eigenschaften unterteilt.

Tabelle 1: Aufzählung der verwendeten Schweinefleischklassen (BMLEH, 2025) (Gehling, Kudick, & Latz, 2009)

Bezeichnung	Schweinefleischklasse	LS-Ziffer
Magere Zuschnitte von Schulter und Schinken	S II	1.2.1.2.1/1.2.1.2.2
Backe, Wamme	S VI	1.2.1.2.2
Rückenspeck	S IX	1.2.1.2.3

Das Magerfleisch ist reich an Muskelgewebe und bildet durch die Denaturierung der Proteine nach dem Garen das Proteingerüst im Brät. Es gibt dem Produkt Konsistenz, Struktur und Fleischaroma. Es sollte ein hohes Wasserbindevermögen haben. Fleisch jüngerer Tiere hat ein höheres Wasserbindevermögen als ältere Tiere (Latz, 2008). Schlachtwarmes Fleisch hat die besten Verarbeitungseigenschaften für die Brühwurst. Allerdings ist die Verarbeitungszeit sehr begrenzt und hat aus logistischen und hygienischen Gründen höhere Anforderungen in der Produktion (Keim & Franke, 2007). Actin und Myosin haben den größten technologischen Einfluss bei der Brühwurstherstellung und müssen beim Kuttern erst aus den Muskelzellen freigesetzt werden (Wirth, Leistner, & Rödel, 1990). Gekühltes Schlachtfleisch sollte eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt haben, um einen guten Aufschluss der Muskelproteine durch längere und intensivere Kutterung zu ermöglichen (Wirth, Leistner, & Rödel, 1990).

Die Backe ist reich an Kollagen und Bindegewebe. Es stützt das Proteingerüst, gibt eine festere Konsistenz und erhöht den Biss der Wurst. Zu viel Bindegewebe oder sehr starke Zerkleinerung führen zu Geleeabsatz (Keim & Franke, 2007). Die Verwendung von bindegewebsreichen Fleischpartien spielt eine eher untergeordnete Rolle bei der Brühwurstherstellung; in der Regel werden nicht mehr 5 % zugesetzt (Branscheid, Honikel, Lengerken, & Troeger, 2007).

Das Fett sorgt für die Saftigkeit und verbessert den Geschmack der Wurst. Damit es nicht austritt, muss es gut ins Brät eingebunden werden. Bei der Brühwurstherstellung wird kerniges Rückenfett verwendet. Es sorgt für eine festere Konsistenz im Endprodukt und tritt bei Erhitzung nicht so schnell aus, wie beispielsweise weiches Bauchfett (Latz, 2008). Ein niedriger Schmelzpunkt des Fettes lässt es während des Kutternvorganges schnell aus dem Brät absetzen, daher ist härteres Fett zu bevorzugen (Keim & Franke, 2007).

2.4.3. Technologische Hilfsstoffe

Zur Verbesserung der Produktqualität werden die Hilfsstoffe wie Wasser, Salze und Phosphat als Kutterhilfsmittel für technologisch relevant angesehen. Wasser muss für eine ausreichende Quellung der Proteine genügend vorhanden sein. Damit beim Zerkleinerungsprozess die entstehende Hitze nicht zu einer Denaturierung der Proteine führt, wird es in Form von Eis hinzugegeben. Speisesalz lässt das Produkt nicht nur salzig schmecken, sondern fördert auch das Eigenaroma von Magerfleisch, Fettgewebe und Gewürzen. Unter einem Salzgehalt von 1,4 % kann bei Brühwürsten ein unharmonischer Aromaeindruck entstehen (Latz, 2008).

Salze im Allgemeinen senken im Brät den a_w -Wert und erhöhen die Ionenstärke im Brät und damit die Löslichkeit und Quellung der myofibrillären Eiweißstoffe, wodurch es die Fett- und Wasserbindekapazität erhöht und den erhitzungsbedingten Fett- und Geleeabsatz vermindert (Branscheid, Honikel, Lengerken, & Troeger, 2007). Das größtmögliche Wasserbindevermögen liegt bei einem Salzgehalt von 5 % im Magerbrät; da die Einsatzmenge des Speisesalzes aus sensorischen Gründen begrenzt ist, werden zusätzlich geschmackneutrale Salze von Genusssäuren wie Citrat, Lactat, Acetat und Tartrat eingesetzt (Latz, 2008). Genusssäuren können den Keimgehalt in Fleischerzeugnissen für eine begrenzte Zeit stabil halten oder hemmen. Es gilt die Dosierungsmenge nach „*quantum satis*“ zu wählen (Brauer, 2019).

Bei der Verwendung von Kaltfleisch ist der Zusatz von Fremdphosphaten beim Kuttern mit Abstand die effektivste Verbesserung des Wasser- und Fettbindevermögens des Grundbrätes (Woltersdorf, Klettner, & Wirth, 1984). Es unterstützt die quellende Wirkung von Kochsalz, hat eine Trennwirkung auf den Aktomyosinkomplex und erhöht die Ionenstärke im Brät, was eine bessere Eiweißquellung bewirkt; eine Dosierung von 0,15 – 2 % ist in der Regel optimal (Branscheid, Honikel, Lengerken, & Troeger, 2007). Die Dosierung von Diphosphat darf gesetzlich 5 g/kg nicht überschreiten, bei einer Dosierung über 3 g/kg sind keine zusätzlichen Effekte nachweisbar. Die Wirkung von Phosphat ist bei der Brätherstellung haptisch und mit dem bloßen Auge zu erkennen. Das Brät wird geschmeidiger, weicher und glänzender (Brauer, 2019).

2.5. Analysemethoden

2.5.1. a_w -Wert

Für Reaktionen steht nur ein Teil des Wassers in einem Lebensmittel zur Verfügung, da ein Teil fest gebunden ist. Der a_w -Wert beschreibt die Wasseraktivität eines Stoffes und ist ein Maß für das nicht gebundene Wasser (Matissek & Fischer, 2021). Er wird errechnet aus dem Wasserdampfdruck des Lebensmittels (p), dividiert durch den Dampfdruck des Wassers (p_0) bei gleicher Temperatur (Sinell, 2004). Der a_w -Wert kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei 1 die uneingeschränkte Wasseraktivität darstellt, was bei Flüssigkeiten der Fall ist (Figura, 2021). Der a_w -Wert von Brühwürsten liegt zwischen 0,95 und 0,98 und ist ein wichtiger Faktor des Hürdenkonzeptes für die Produktsicherheit (Sinell, 2004).

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

Der a_w -Wert kann über den Taupunkt bestimmt werden. Die Probe wird in einem geschlossenen Probenfach aufbewahrt und die Temperatur wird gemessen. Über der Probe befindet sich ein Taupunktspiegel. Dieser wird soweit herunter gekühlt, bis der Taupunkt erreicht ist und Wasser auf dem Spiegel kondensiert. Dadurch verändern sich die Reflexionseigenschaften, die von einem Sensor detektiert werden können. Aus Spiegel- und Probentemperatur kann der a_w -Wert mittels der Dampfdruckkurve ermittelt werden (Matissek & Fischer, 2021).

2.5.2. Farbmessung

Für die Farbcharakteristik sind unter anderem die Konzentration von Myoglobin und Hämoglobin und oxidative Einflüsse im Fleisch wichtige Faktoren (Hofmann & Potthast, 1986). Das L^*, a^*, b^* -Farbraumsystem ist das gebräuchlichste System der Farbmessung. L^* ist ein Maß für die Helligkeit. Die Helligkeit wird zwischen 0 (Schwarz) und 100 (Weiß) angegeben. a^* und b^* sind Koordinaten auf der Farbebene. Schweinefleisch hat meist einen L^* -Wert von 45-60. Die Koordinaten a^* und b^* können sehr unterschiedlich sein, liegen aber in der Regel unter 10 (Blüchel & Honikel, 2006).

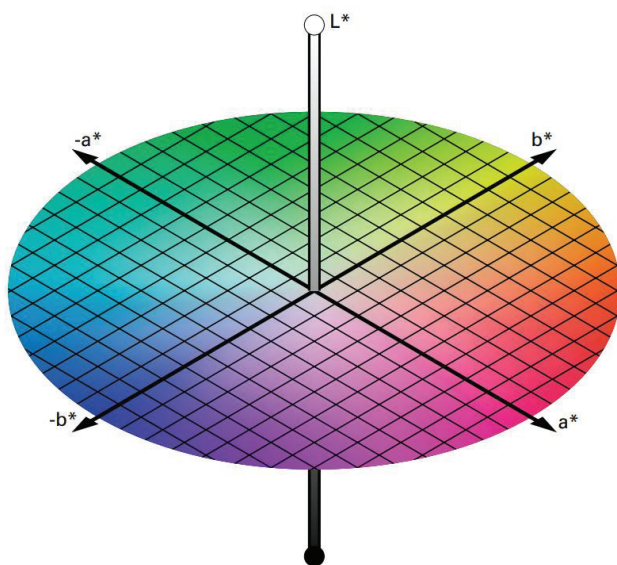


Abbildung 1: L^*, a^*, b^* -Farbraumsystem (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018)

Der Farbabstand wird mit der Differenz von ΔE^* der jeweiligen Probe bewertet. ΔE^* ist die Strecke im Farbraum zwischen zwei Farbtönen und wird mithilfe des Satzes des Pythagoras berechnet (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

2.5.3. Masseveränderung beim Garprozess

Bei der Proteindenaturierung finden Veränderungen im Bindegewebe des Fleisches statt. Zellmembrane werden zerstört, wodurch Stoffe aus dem Lebensmittel austreten können. Temperaturverlauf und Zeit beim Garprozess sind von entscheidender Bedeutung. Die Masseveränderung beim Garprozess (Δm_{Garen}) kann wie folgt berechnet werden (Blüchel & Honikel, 2006).

$$\Delta m_{\text{Garen}} [\%] = \frac{\text{Rohgewicht} - \text{Erhitzungsgewicht}}{\text{Rohgewicht}} * 100$$

2.5.4. pH-Wert

Zur Ermittlung des pH-Wertes mit einer Glaselektrode wird eine Spannung zwischen dieser und einer Bezugselektrode aufgebaut. Die in diesem Fall verwendete Einstabmesskette wird in die Fleischprobe eingesteckt. Die gemessene Spannung kann in pH-Werten, nach kurzer Einstellzeit abgelesen werden. Bei Fleisch und Fleischerzeugnissen ist ein pH-Wert zwischen 5 und 7,5 zu erwarten (Blüchel & Honikel, 2006).

2.5.5. Texture Analyser

Um die Zartheit von Fleisch und Fleischprodukten zu testen, wird die Warner-Bratzler-Schere angewendet. Die Bewegungsgeschwindigkeit liegt zwischen 50 und 100 mm/min. Am Bewegungsarm der Schere befindet sich eine Kraftzelle, die den Widerstand während des Schnittvorgangs aufzeichnet (Blüchel & Honikel, 2006). Zur Bewertung werden die maximal gemessenen Widerstände verglichen.

2.5.6. Trockenmasse

Der Wassergehalt ist einer der bestimmenden Faktoren für die Qualität und Haltbarkeit von Lebensmitteln. Entzieht man einem Produkt durch eine definierte Wärmebehandlung die enthaltenen Flüssigkeiten und flüchtigen Stoffe, bleibt die Trockenmasse zurück (Matissek & Fischer, 2021). Zur Ermittlung der Trockenmasse (TM) wird die Trockensubstanz (m_{TS}) des Lebensmittels durch die Masse des Lebensmittels (m_{LM}) dividiert. Für eine Angabe in Prozent wird das aufgestellte Verhältnis mit 100 multipliziert (Figura, 2021).

$$TM [\%] = \frac{m_{\text{TS}}}{m_{\text{LM}}} * 100$$

Für die Schnellbestimmung des Feuchtegehaltes in Fleisch und Fleischerzeugnissen findet ein Feuchtemessgerät die häufigste Anwendung. Eine stark heizende Infrarotlampe über einer Feinwaage sorgt für eine schnelle Trocknung der vorher fein zerkleinerten Probe. Die Genauigkeit dieser Messbestimmung gilt als ausreichend (Hofmann & Arneth, 1981).

2.6. Sensorik

2.6.1. Einfach beschreibende Prüfung

Die einfach beschreibende Prüfung wird nach DIN durchgeführt (DIN-10964, 2014). Sie dient zur Beschreibung einzelner Merkmale und Eigenschaften von Lebensmitteln. Die Beschreibungen sind rein objektiv und ohne bewertende Begriffe. Die Charakterisierung einer Probe wird in den Kategorien Form, Farbe, Geruch, Geschmack und Textur eingeteilt. Die Prüfpersonen müssen geschult sein (Fliedner, 1995). Es haben 11 Prüfpersonen an der Untersuchung teilgenommen.

2.6.2. Beliebtheitsprüfung

Die hedonische Prüfung wird nach DIN durchgeführt (DIN-10974, 2008). Ziel ist es, die subjektive Wahrnehmung des Verbrauchers zu erfahren, besonders deren Vorlieben und Meinungen aus der getesteten Produktreihe. Das Produkt wird nicht mit Merkmalen beschrieben und spezifiziert. Die Prüfpersonen sind ungeschult, daher sollte die Anzahl der Verkostenden höher sein, als bei analytischen Prüfmethoden. Die Prüfpersonen sollten zur Zielgruppe des Produktes gehören. Es sollten nicht mehr als 6 verschiedene Proben in einer Umfrage untersucht werden. Die Bewertung erfolgt über eine 9 Punkteskala. Jedem Punkt wird eine Bewertungsgröße zugeordnet. „9“ ist dabei der höchste Punkt mit „gefällt außerordentlich“ und „1“ der niedrigste Punkt mit „missfällt außerordentlich“. Bei der Auswertung wird ein prozentualer Vergleich zu gewählten Bewertungsgruppen gezogen. Zum Beispiel waren bei der Probe 1 70 % der Bewertungsgrößen bei 6-9 (Fliedner, 1995). Es haben 20 Prüfpersonen an der Untersuchung teilgenommen.

Zusätzlich zu der Beliebtheitsprüfung wird eine JAR-Analyse (just about right) durchgeführt. Dabei werden die Merkmale: „Biss“, „Saftigkeit“ und „Fleischaroma“ untersucht. Bei einer sensorischen Untersuchung von Fleisch-, Hybrid-, und Fleischersatzprodukten von Bratwürsten und Burgerpatties waren fehlende Saftigkeit und Fleischaroma die häufigsten Gründe für Punktabzüge in der Beliebtheit (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017). Der Einsatz von Pflanzenstoffen in Fleischprodukten führt zur einer Texturveränderung. In den meisten Fällen werden die Produkte weicher, was Auswirkungen auf den „Biss“ hat, einem charakteristischen Merkmal für gebrühte Bratwürste (Olewnik-Mikolajewska, Guzek, Glabska, & Gutkowska, 2024). Die Merkmale müssen von den Prüfpersonen in eine der folgenden Kategorien eingeordnet werden: zu wenig, genau richtig, zu viel. Mit einer anschließenden Penalty-Analyse kann der Einfluss der Merkmale auf die Beliebtheit untersucht werden. Diese Art der Analyse kann zur Produktoptimierung genutzt werden (Rothman & Parker, 2009).

3. Material und Methoden

3.1. Nährwerte beheimateter Leguminosen

Leguminosen stellen eine gute regionale Eiweißquellen für eine pflanzliche Ernährung dar. Bei richtigem Einsatz sind sie ein geeignetes Mittel, tierische Eiweißquellen in der Humanernährung teilweise zu ergänzen oder vollständig zu ersetzen. Dabei gilt es zu beachten, dass Proteine unterschiedlich zusammengesetzt sind. Häufig können pflanzliche Proteine vom menschlichen Körper nicht vollständig verwertet werden. Dafür mitverantwortlich ist das Aminosäurenprofil der Proteine und deren Verdaulichkeit. Eine Möglichkeit der ernährungsphysiologischen Bewertung von Proteinen ist die Berechnung des PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score).

$$PDCAAS = PD * AAS$$

Zur Bestimmung von der Verdaulichkeit (PD) bei Proteinen werden heranwachsende Ratten oder Schweine mit den zu untersuchenden Rohstoffen gefüttert. Da die Verdauung der Tiere der menschlichen Verdauung sehr ähnlich ist, lassen Stuhlanalysen Rückschlüsse auf die Verdaulichkeit zu. Trotz Ungenauigkeiten wird diese Art der Untersuchung als überlegen gegenüber den meisten anderen Bestimmungsmethoden angesehen (FAO, 2011).

Ein Maß für die limitierende Aminosäure (lim. AS) ist der AAS (Aminos Acid Score). Die Verwertbarkeit von Proteinen wird von der am wenigsten vorkommenden essentiellen Aminosäure beschränkt. Die essentiellen Aminosäuren des Lebensmittels werden jeweils mit dem Bedarf eines Referenzmusters ins Verhältnis gesetzt. Eine Darstellung der Aminosäureprofile ist in Abbildung 2 aufgezeigt. Folgende Berechnungen sind auf das Referenzmuster von Menschen zwischen 3 und 10 Jahre bezogen (FAO, 2011)

$$AAS = \frac{m_{lim. AS}[\frac{mg}{g}]}{m_{Referenz}[\frac{mg}{g}]}$$

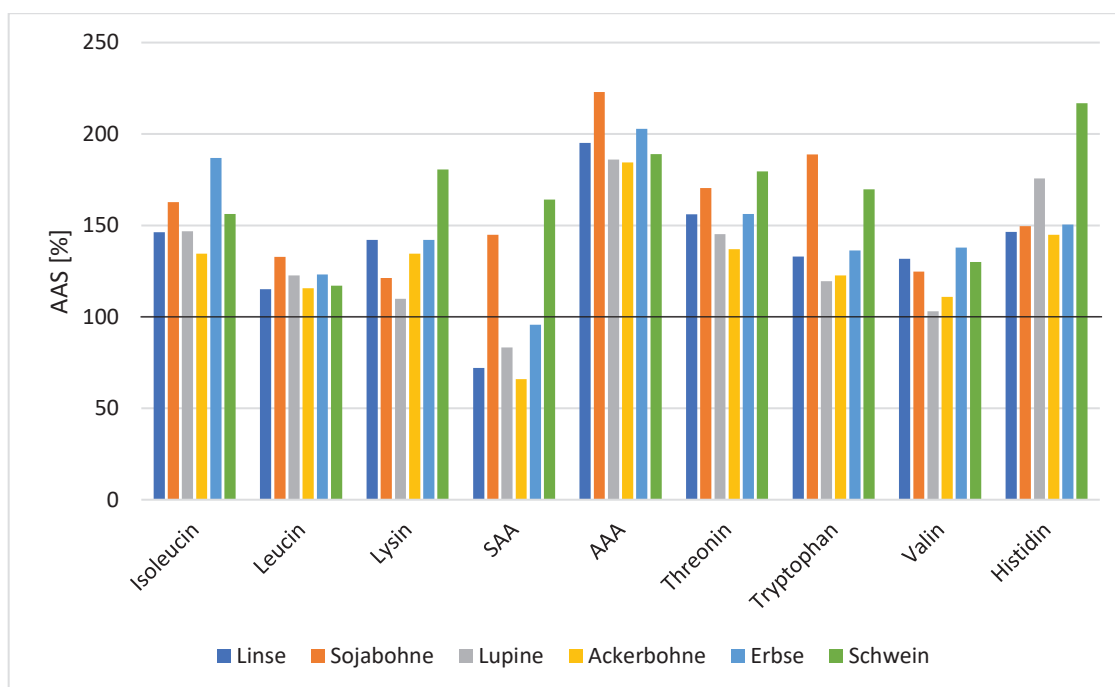


Abbildung 2: Aminosäureprofil von regionalen Leguminosen und Schweinefleisch

Die Berechnung der Tabelle 2 basiert auf den Aminosäuregehalten der Leguminosen aus Tabelle 31, den Referenzmustern aus Tabelle 30 und den Verdaulichkeiten aus Tabelle 34. Werte über 100 beim AAS werden als 100 angesehen. Dort liegt theoretisch keine Limitierung durch eine Aminosäure vor. Dennoch wird die Aminosäure angegeben, die im Verhältnis zum Referenzmuster am wenigsten vorhanden ist. Die ernährungsphysiologisch drei wertvollsten Proteine liefern in absteigender Reihenfolge: die Sojabohne, die Erbse und Lupine.

Tabelle 2: PDCAAS relevanter Leguminose

	lim. AS	AAS	PD	PDCAAS
Linse	SAA	72,0	83	59,7
Sojabohne	Lysin	100,0	86	86,0
Lupine	SAA	83,2	83	69,1
Ackerbohne	SAA	66,0	70	46,2
Erbse	SAA	95,7	86	82,3

Bei einer Zugabe von 20 % Lupinen zu einer Bratwurst aus Schweinefleisch wird bei keiner Leguminose ein AAS unter 100 erreicht (Tabelle 3). Die Aminosäureprofile der Hybridprodukte sind in Tabelle 33 im Anhang zu finden. Sie wurden durch eine Mischkalkulation der Rezepturen erstellt. Die einzige Limitierung entsteht durch die Verdaulichkeit. Für die Berechnung der Verdaulichkeit der Hybridprodukte wurden die Verdaulichkeit der jeweiligen Leguminose (zu 20 %) und von Schweinefleisch (zu 80 %) ins Verhältnis gesetzt.

Tabelle 3: PDCAAS gebrühter Bratwürste mit 20 % Substitution des Pflanzenstoffs

	lim. AS	AAS	PD	PDCAAS
Hybrid Linse	Leucin	100	96,6	96,6
Hybrid Sojabohne	Leucin	100	97,2	97,2
Hybrid Lupine	Leucin	100	96,6	96,6
Hybrid Ackerbohne	Leucin	100	94,0	94,0
Hybrid Erbse	Leucin	100	97,2	97,2

Die biologische Wertigkeit der Proteine der Hybridprodukte sind nahezu gleich. Somit ist der Eiweißgehalt entscheidend für die Wahl des geeigneten Substitutes. Damit sind nach Tabelle 29 die Lupine (15 %) und die Sojabohne (16 %) im gegarten Zustand am besten für die Substitution in einem Fleischerzeugnis geeignet.

3.2. Versuchsplanung

Als Vorversuch wird im Physiklabor der Hochschule Neubrandenburg während einer Zeit von 5 Werktagen die Einweichzeit der Lupine untersucht. Ziel der Untersuchung ist es, eine Quellzeit für eine möglichst weiche Lupine zu wählen, um die Zerkleinerung in späterer Verarbeitung zu ermöglichen, ohne unnötige hygienische Risiken bei zu langen Quellen einzugehen. Dafür wird zweimal am Tag die Massezunahme von 3 Lupinenmengen bestimmt und die Trockenmasse gleicher Lupine mit selber Einweichzeit einer 4. Lupinenmenge. Die Einweichzeiten betragen: 2 h, 6 h, 24 h, 30 h, 48 h, 54 h, 72 h, 78 h und 96 h. Die Wassertemperatur entspricht der Raumtemperatur von 18 °C. Das Wasser hat 13,6 °dH und gilt damit als hartes Wasser (Stadtwerke, 2024).

Für den Hauptversuch wird im Technikum der Hochschule Neubrandenburg die Herstellung einer gebrühten Bratwurst und 4 Varianten einer gebrühten Lupinenbratwurst an einem Tag durchgeführt. Die Sensorik und Laboranalyse wurden an den zwei Folgetagen im Physiklabor und Sensoriklabor der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Eigene Herstellungsversuche haben ergeben, dass ab einem Lupinenanteil von 30 % bereits deutliche Unterschiede, sowohl sensorisch als auch optisch, zu erkennen sind. Es gibt 4 verschiedene Rezepturen der gebrühten Bratwürste, wobei der Anteil der enthaltenen Lupine variiert (0%, 10 %, 20 %, 30 %). Die Rezeptur aus Tabelle 9 mit 20 % Lupine wird zweimal hergestellt, wobei der ansonsten identische Herstellungsprozess verändert wird. Die Details dazu sind in Kapitel 3.6. beschrieben. Daraus ergeben sich 5 Produktvarianten.

3.3. Geräte

In Tabelle 4 sind alle verwendeten Geräte und Maschinen für die Herstellung und Untersuchung der gebrühten Bratwurst und der Lupine aufgelistet. Zusätzlich wurden Messbecher, Messbechergläser, Wiegeschalen, Probenbecher, Spatel, Schüsseln, Eimer, Tablett, Siebe, Küchenmesser, Schneidebretter, Gummi- und Teigschaber, Löffel und Pfannen verwendet.

Tabelle 4: In Untersuchungen und Versuchen verwendete Geräte

Gerätebezeichnung	Hersteller
Mixer Vitamix	Corporation Total Nutrition Center s2000; Keimling Naturkost GmbH Buxtehude; Deutschland
Feuchtebestimmer MA35M-230 N	Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen; Deutschland
Stoppuhr: hanhart stopstar 2	Hanhart 1882 GmbH Gütenbach; Deutschland
Waage: BCE62021-1S	Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen; Deutschland
Farbmessgerät: Colorflex EZ	HunterLab Europe GmbH Murnau am Staffelsee; Deutschland
a_w-Wert-Messgerät: Aqualab CX-2	Aqualab by Addium Inc. Pullman; USA
Texture Analyser: Model: Plus-Upgrade	Stable Micro Systems Ltd Godalming; Großbritannien
pH-Messgerät: FiveGO Cond meter F3	Mettler Toledo GmbH Gießen; Deutschland
Fleischwolf W114	Talsabell Spanische Aktiengesellschaft Xirivella; Spanien
Tischkutter 20 I	Kilia-Fleischerei-und Spezial-Maschinen- Fabrik GmbH; Neumünster; Deutschland
Tischwurstfüller Model 2004 15 I	DICK GmbH & Co. KG Deizisau; Deutschland
Autoklav: Korimat MP6	Korimat Metallwarenfabrik GmbH Mittenaar-Ballersbach; Deutschland
Scherbeneisbereiter: Kälte-Klima-Eis	Rolf Gerhard GmbH Windeck; Deutschland
Thermometer: TTX 100 type T	Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG; Weilheim; Deutschland
Thermometer: Testo 108	Testo Saveris GmbH Titisee-Neustadt; Deutschland

3.4. Analytik

Mit Ausnahme der Proben zur Untersuchung des Garverlustes wurden alle Bratwurstvarianten so hergestellt, wie sie auch im Einzelhandel üblich sind. Also im Darm abgefülltes Brät, bereits portioniert und gebrüht, jedoch noch ungebraten. Die hergestellten Produkte wurden vor der Untersuchung verpackt und mindestens für 24 h bei 4 °C gelagert.

3.4.1. a_w -Wert

Zur Probenvorbereitung werden Stücke aus 3 verschiedenen Würsten geschnitten und inklusive Darm mit einem Mixer fein zerkleinert. Die Probenschale des Prüfgerätes wird lückenlos bis zur Hälfte mit dem Probenmaterial befüllt. Die Probenschale wird ins Einschubfach des Prüfgerätes gestellt und geschlossen. Die Messung wird gestartet. Der Messwert kann abgelesen werden, wenn das akustische Signal ertönt ist. Pro Variante wird eine Dreifachbestimmung durchgeführt.

3.4.2. Farbmessung

Für die Probenvorbereitung der Farbmessung werden durch Querschnitte Proben aus der zu untersuchenden Wurst entnommen. Das Messgerät wird mit einer Linse mit einem passenden Durchmesser zur Probe versehen und mit dem Aufsatz zur Kalibrierung eingestellt. Die Probe wird anschließend auf die Linse gelegt und abgedeckt. Dann wird das Messprogramm zur 5-fachbestimmung gestartet und die erste Messung wird durchgeführt. Nach wenigen Sekunden ist die Messung beendet und es ertönt ein akustisches Signal. Dann kann die Abdeckung entfernt und die Probe um ca. 70° für die nächste Messung gedreht werden. Nachdem die 5 Messungen durchgeführt wurden, wird der angezeigte Mittelwert abgelesen und aufgezeichnet. Aus jeder Variante wurden 5 Proben jeweils mit einer 5-fachbestimmung untersucht.

3.4.3. Masseveränderung beim Garprozess

Die Masseveränderung der Produkte wurde während Gar- und Brühprozess untersucht. Die Proben wurden vor den Garprozessen gewogen und markiert, dann gegart und erneut gewogen. Beim Brühprozess wurden 5 Würste in 3 zu untersuchende Proben aufgeteilt. 2 Proben bestanden aus 2 zusammenhängenden Würsten und eine Probe aus einer Wurst. Der Brühprozess dauerte 35 min bei einer Brühwassertemperatur von 70 °C. Die Würste wurden direkt im Anschluss in Eiswasser abgeschreckt und vor dem zweiten Wiegen mit Küchenpapier abgetupft. Beim Bratprozess wurden pro Variante 5 einzelne Würste untersucht. Dabei wurde eine Pfanne auf mittlerer Hitze erhitzt. Die Würste wurden in etwas Öl ca. 3 min auf 2 Seiten braun angebraten. Das Bratfett wurde vor dem zweiten Wiegen mit Küchenpapier abgetupft.

3.4.4. pH-Wert

Zur Probenvorbereitung werden Stücke mit Darm aus 3 verschiedenen Würsten geschnitten und zusammen in einem Mixer zerkleinert. Zur Messung wird das Messgerät mit zwei Lösungen und einem pH von jeweils 4,01 und 7 kalibriert. Die Messelektrode wird in die Probe gesteckt, bis der Glaskörper vollständig mit Probenmaterial umgeben ist. Der Messwert wird abgelesen, sobald der angezeigte Wert sich nicht mehr verändert. Die Messung wurde an 3 zufällig gewählten Stellen der Probenmasse durchgeführt. Zwischen den Messungen wurde die Messelektrode gereinigt und gespült. Pro Variante wurden 3 Messwerte erhoben.

3.4.5. Texture Analyzer

Zur Messung der Textur wurde die Warner-Bratzler Klinge am Messarm befestigt. Die Kraftzelle wird mit einem geeichten Gewicht kalibriert. Die montierte Probenablage enthält eine Öffnung, die das Durchstoßen der Warner-Bratzler-Klinge erlaubt. Die Kraftzelle hat einen Maximaldruck von 50 kg. Die Bratwurst wird so auf die Probenablage gelegt, dass die Klinge sie senkrecht durchschneiden kann. Der Messarm bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/s 4 cm weit senkrecht nach unten. Gemessen wird die Maximalkraft, die während des Schneidevorgangs auf die Kraftzelle eingewirkt hat. Pro Variante werden jeweils 3 Würste mit Darm und 3 Würste ohne Darm untersucht. Pro Bratwurst werden 3 Messungen durchgeführt. Das ergibt jeweils 9 Messungen mit Darm und 9 Messungen ohne Darm pro Variante. Dabei wird darauf geachtet, dass die Schnitte möglichst weit voneinander und von den Enden der Bratwurst entfernt sind.

3.4.6. Trockenmasse

Für die Probenvorbereitung der Bratwurstvarianten werden Stücke aus 3 zufällig gewählten Bratwürsten geschnitten und mit Darm in einem Mixer zerkleinert. Im Schnellfeuchtebestimmer wird die Probenschale tariert. Anschließend werden 2 g der Probe eingewogen und mit einem Spatel gleichmäßig und möglichst flach auf der Probenschale verteilt. Nach Schließen des Messgerätes wird die Messung gestartet. Ein akustisches Geräusch des Gerätes signalisiert die Beendigung der Messung. Der Messwert der Trockenmasse wird notiert. Pro Variante der Bratwurst wurde eine Dreifachbestimmung durchgeführt. Für die Probenvorbereitung der Lupine zu unterschiedlichen Wässerungszeiten werden ca. 100g Lupine in einem Sieb abgetropft und anschließend mit Papiertüchern mehrfach sorgfältig abgetrocknet. Die Probe wird mit einem Mixer fein zerkleinert. Pro Zeitabschnitt wird eine Dreifachbestimmung durchgeführt.

3.5. Rohwaren und Rezepturen

Die für die Versuche verwendeten Zutaten und deren Hersteller beziehungsweise Lieferanten, sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: verwendete Zutaten

Zutatenbezeichnung	Hersteller
Magerfleisch	Chefs Culinar GmbH & Co. KG; Kiel Deutschland; DE MV 51201 EG; Charge: 255892; Los: 1302559829; Auftrag: 686989
Backe mit Schwarte	Chefs Culinar GmbH & Co. KG; Kiel Deutschland; DE MV 51201 EG; Charge: 255982 D; Los: 1302559820; Auftrag: 686989
Rückenspeck ohne Schwarte	Chefs Culinar GmbH & Co. KG; Kiel Deutschland; DE MV 51201 EG; Charge: 255982 D; Los: 1302559819; Auftrag: 686989
Weißer Bio-Lupine	Sorte: Sulimo; angebaut in Brandenburg Brotbüro GmbH Hamburg; Deutschland
Majoran, getrocknet gerebelt, Insula	Gustav Essig GmbH & Co. KG Mannheim; Deutschland
Kümmel, ganz	Chefs Culinar GmbH & Co. KG Kiel; Deutschland
Alpenjodsalz Bad Reichenhaller	Südwestdeutsche Salzwerke AG Heilbronn; Deutschland
Pfeffer, schwarz, gemahlen	Fuchs Foodservice GmbH Dissen; Deutschland
Kutterhilfsmittel Biro Prosa	Hanseata Theofil Zuther GmbH & Co. KG ; Hamburg; Deutschland
Saitling 20/22	Peter Gelhard Naturdärme KG Ransbach-Baumbach; Deutschland

Tabelle 6: Rezeptur Gewürzmischung für eine Rezeptur

Zutat	Anteil [%]	Menge [g]
Salz	69,23	43,88
Pfeffer	11,83	7,50
Majoran	11,83	7,50
Kümmel	7,10	4,50
Gesamt	100	63,38

Für die Laboranalysen und die Sensorik hätten 2 kg pro Produktvariante ausgereicht. Um den verwendeten Kutter ausreichend mit Produkt für eine gute Zerkleinerung füllen zu können, werden 3 kg pro Rezeptur benötigt. Tabelle 7 bis Tabelle 10 zeigen die Rezepturen der verschiedenen Bratwurstvarianten. Für die hinzugefügte Lupinenmenge wurde zu gleichen Teilen die Anteile von Magerfleisch und Rückenspeck reduziert. Die Menge des Kutterhilfsmittels wurde bezogen zu dem sinkenden Fleischanteil gesenkt. Die fehlende Menge an Kutterhilfsmittel wurde durch eine geringfügige Erhöhung des Eisanteils kompensiert. Die Nährwerte der Rezepturen sind in Tabelle 41 zu finden.

Tabelle 7: Rezeptur für Versuch 1: gebrühte Bratwurst

Zutat	Anteil [%]	Menge [g]
Magerfleisch	47,50	1425,00
Backe	5,00	150,00
Rückenspeck	26,14	784,13
Eis	18,75	562,50
Kutterhilfsmittel	0,50	15,00
Gewürze	2,11	63,38
Gesamt	100	3000

Tabelle 8: Rezeptur für Versuch 2: gebrühte Bratwurst mit 10 % Lupine

Zutat	Anteil [%]	Menge [g]
Magerfleisch	42,50	1,275,00
Backe	5,00	150,00
Rückenspeck	21,14	634,13
Lupine	10,00	300,00
Eis	18,80	564,00
Kutterhilfsmittel	0,45	13,50
Gewürze	2,11	63,38
Gesamt	100	3000

Tabelle 9: Rezeptur für Versuch 3 und 4: gebrühte Bratwurst mit 20 % Lupine

Zutat	Anteil [%]	Menge [g]
Magerfleisch	37,50	1125,00
Backe	5,00	150,00
Rückenspeck	16,14	484,13
Lupine	20,00	600,00
Eis	18,85	565,50
Kutterhilfsmittel	0,40	12,00
Gewürze	2,11	63,38
Gesamt	100	3000

Tabelle 10: Rezeptur für Versuch 5: gebrühte Bratwurst mit 30 % Lupine

Zutat	Anteil [%]	Menge [g]
Magerfleisch	32,50	975,00
Backe	5,00	150,00
Rückenspeck	11,14	334,13
Lupine	30,00	900,00
Eis	18,90	567,00
Kutterhilfsmittel	0,35	10,50
Gewürze	2,11	63,38
Gesamt	100	3000

3.6. Versuchsablauf

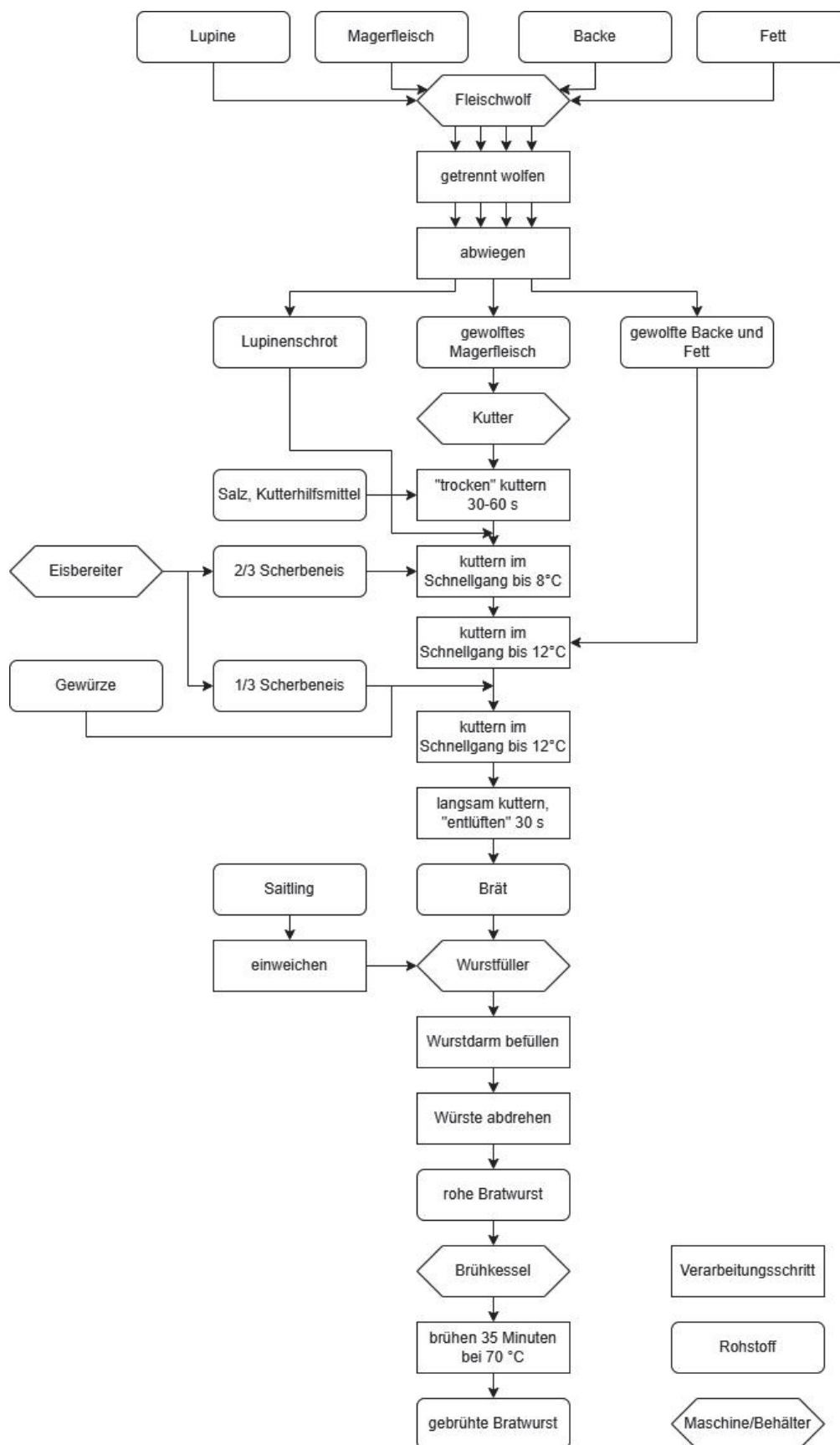


Abbildung 3: Fließschema zum Herstellungsverfahren einer gebrühten Lupinen-Bratwurst

Die Abbildung 3 gibt einen Überblick für die Herstellung der gebrühten Lupinen-Bratwürste. Sie ist eine Eigenentwicklung und orientiert sich an der DIN zu Erstellung von Schemata (DIN-EN-ISO-10628-1, 2015). Die Lupine wurden in der Vorbereitung für 48 h bei 18 °C gewässert. Dabei wurde alle 8 h das Wasser gewechselt, um mikrobiellen Verderb zu vermeiden. Anschließend wurde die Lupine für 1 h bei siedendem Wasser gekocht, um die Festigkeit weiter zu verringern.

Bei Versuch 1 ohne Lupine wird die Zugabe der Lupine weggelassen. Bei Versuch 4 werden die Lupine separat mit dem Vitamix zerkleinert. Es wird Wasser hinzugegeben, bis eine ausreichende Zerkleinerung möglich ist. Die hinzugegebene Wassermenge wird mit der Waage erfasst und von der Menge des Scherbeneises abgezogen. Die Eismenge wird somit um ca. ein Drittel reduziert. Die zerkleinerte Lupine wird dann direkt nach der Fettzugabe in den Kutter hineingegeben.

Die Gewürze und das Kutterhilfsmittel werden in Schüsseln abgewogen und bereitgestellt. Der Saitling wird gewässert. Das Magerfleisch, Backenfleisch und Fett, sowie die Lupine werden mit einer 2 mm Lochscheibe nacheinander gewolft. Die Mengen der gewolften Zutaten werden jeweils für die Produktvarianten in Schüsseln abgewogen, abgedeckt und kühlgestellt. Der Kutter wird mit Eiswasser vorgekühlt. Das Eiswasser wird dem Kutter entnommen. Gewolfte Magerfleisch wird unter Zugabe von Salz und dem Kutterhilfsmittel 30 Sekunden lang im Schnellgang „trocken“ gekuttert. Die Lupine wird hinzugegeben und es wird bis zu einer Produkttemperatur von 8 °C gekuttert. Im Schnellgang wird ca. 2/3 des Scherbeneismenge hinzugegeben und erneut auf eine Temperatur von 8°C gekuttert. Es folgt die Fettzugabe. Es wird weiter im Schnellgang gekuttert bis zu einer Temperatur von 12 °C. Anschließend wird das restliche Eis hinzugegeben und darauffolgend werden die Gewürze während des laufenden Zerkleinerungsprozesses beigemischt. Es wird weiterhin im Schnellgang gekuttert bis erneut eine Temperatur von 12 °C erreicht ist. Vor dem Abfüllen wird das Brät mit der langsamen Kutterungsstufe für 30 Sekunden entlüftet. Das angewendete Magerbrätverfahren im Kutterungsprozess orientiert sich am Buch der Fleischtechnologie (Sielaff, 1996). Das Brät wird dem Kutter entnommen und möglichst luftfrei in den Wurstfüller überführt. Die Kurbel des Wurstfüllers wird betätigt, bis das Produkt am Ende des Füllrohres zu sehen ist. Auf das Füllrohr wird der Saitling aufgestülpt. Am Ende des Darms wird ein Knoten geschnürt. Mit Betätigen der Kurbel wird der Wurstarm mit dem Brät befüllt. Am zweiten Ende des Darms wird ein weiterer Knoten geschnürt. Für die Bestimmung der Masseveränderung während des Brühprozesses müssen mehrere kürzere befüllte Saitlingstränge geknotet werden. Diese werden durch farbiges Garn markiert. Die Masse einzelner roher Bratwürste oder Brawurstverbände wird bestimmt. Die jeweiligen Bratwurstvarianten werden in Netzen in den Brüher gelassen. Der Brüher wurde im Vorfeld mit Wasser befüllt und auf 70 °C vorgeheizt. Die Bratwürste werden mit einer Platte beschwert und für 15 Minuten gebrüht. Dann wird die Kerntemperatur durch das Einstecken eines Thermometers bestimmt und minütlich aufgezeichnet. Nach insgesamt 35 Minuten Brühzeit ist der Garprozess beendet. Das Produkt wird dem Brüher entnommen und mit Eiswasser

abgeschreckt und abgekühlt. Die markierten Proben der 5 Versuchsvarianten werden jeweils abgetrocknet, gewogen und anschließend zurückgelegt. Die Produkte werden abgetropft, abgedeckt und bei 4 °C kühl gestellt. Die Sensorik erfolgt am Folgetag. Die Analysen erfolgen am Tag darauf.

4. Ergebnisse

4.1. Laboranalysen

Für die statistische Auswertung der Messwerte im Labor wurde eine einfache einfaktorielle Anova angewendet. Bei der Farbmessung wurde jedoch zusätzlich, wegen unzureichender Varianzhomogenität, eine Analyse mit der Welch-Anova berechnet (Tabelle 45, Tabelle 46, Tabelle 47). Zur Berechnung kam das Programm SPSS zur Anwendung. Der nachfolgende Post-hoc-Test wurde für die Farbwerte nach Games-Howell berechnet. Die restlichen Messwerte wurden mit dem Post-hoc-Test nach Tukey auf Signifikanzen untersucht. Die meisten Ergebnisse sind tabellarisch dargestellt.

4.1.1. Vorversuch Quellen der Lupine

Die Abbildung 4 zeigt das Quellverhalten weißer Lupine in Wasser bezogen auf die Wasseraufnahme. Die Massezunahme der Abbildung ist auf die Anfangsmasse bezogen. Nach 96 h hat die Masse um 142 % zugenommen. Die Abbildung zeigt deutlich, dass die Zunahme der Masse der Lupine und die Abnahme der Trockenmasse in einem direkten Zusammenhang stehen. Die genaueren Messwerte und die Standardabweichung sind in Tabelle 43 im Anhang zu finden. Hauptziel der Untersuchung ist es, eine optimale Quellzeit zu ermitteln. Optimal bedeutet einen Kompromiss zu finden für möglichst weiche Lupine mit einem möglichst geringen Risiko für Verderb. Die Quellzeit sollte so kurz wie möglich und so lange wie nötig gewählt werden. Nach 24 h im Wasser sind 88 % der maximal gemessenen Massezunahme (nach 96 h Quellzeit) erreicht und nach 48 h bereits 94 %. In weiteren 48 h Quellzeit gibt es keinen signifikanten Unterschied bei der Trockenmasse (Tabelle 44). Ein steigendes mikrobielles Risiko spricht gegen eine Quellzeit von 72 h für eine prozentuale Massezunahme bezogen auf das gemessene Maximum von 97 %.

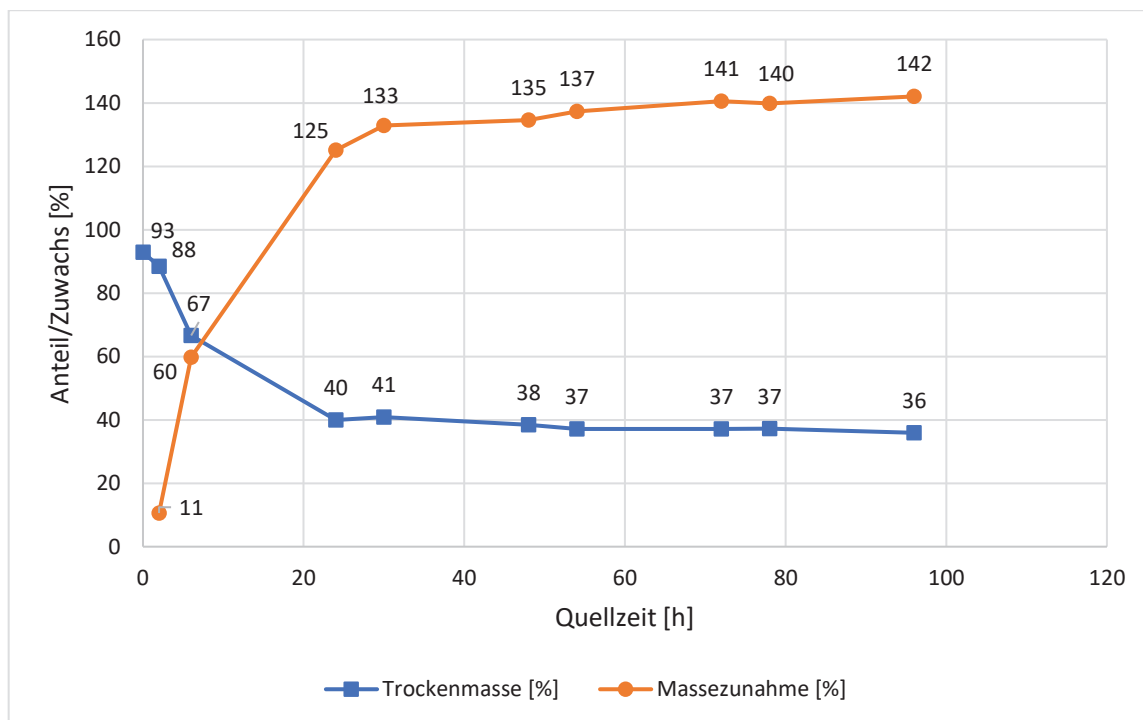


Abbildung 4: Trockenmasse und Massezunahme von Lupinen in Abhängigkeit der Quellzeit in Wasser

4.1.2. pH-Wert

Die pH-Werte der Wurstvarianten sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Variante ohne Lupine ist signifikant unterschiedlich zu allen anderen Varianten. Zusätzlich gibt es einen messbaren Unterschied zwischen der Varianten mit 10 % und 30 % Lupine. Der Zusatz von 30 % Lupine hat den pH- Wert um 0,17 verringert.

Tabelle 11: pH-Wert

Varianten	n	Gruppe	pH-Wert	Stabw.
30 % Lupine	3	A	6,05	0,064
20 % Lupine A	3	AB	6,07	0,020
20 % Lupine B	3	AB	6,09	0,021
10 % Lupine	3	B	6,12	0,021
0 % Lupine	3	C	6,22	0,010

4.1.3. a_w -Wert

Die a_w -Werte der Wurstvarianten sind in Tabelle 10 vorzufinden. Ein statistischer Unterschied besteht lediglich zwischen 0 % und 30 % Lupine. Mit der Zugabe von Lupinen steigt der a_w -Wert an.

Tabelle 12: a_w -Wert

Varianten	n	Gruppe	a_w -Wert	Stabw.
0 % Lupine	3	A	0,97	0,007
10 % Lupine	3	AB	0,97	0,004
20 % Lupine A	3	AB	0,98	0,003
20 % Lupine B	3	AB	0,98	0,003
30 % Lupine	3	B	0,98	0,001

4.1.4. Garverlust

Beim Brühen wurden keine statistischen Unterschiede in der Masseveränderung festgestellt (Tabelle 46). Die Garverluste beim Braten werden in Tabelle 13 dargestellt. Durch die unterschiedlichen Gewichte der einzeln untersuchten Bratwürste, wird für eine Vergleichbarkeit der Masseverlust in Prozent in Bezug auf die Gesamtmasse vor dem Braten angegeben. Die Varianten 0 % und 10 % Lupine sind messbar unterschiedlich zu den restlichen Varianten mit höheren Lupinenanteil.

Tabelle 13: Massereduktion beim Braten [%]

Varianten	n	Gruppe	Δm [%]	Stabw.
0 % Lupine	5	A	2,66	0,549
10 % Lupine	5	A	2,70	0,739
30 % Lupine	5	B	4,32	0,586
20 % Lupine B	5	B	4,68	0,940
20 % Lupine A	5	B	5,37	0,891

4.1.5. Trockenmasse

Die Trockenmassen der Versuchsvarianten werden in Tabelle 14 dargestellt. Der Anteil an Lupinen hat einen großen Einfluss auf die Trockenmasse. Alle Varianten mit variierender Lupinenmenge sind signifikant unterschiedlich zueinander. Die Standardabweichung der Bratwurstvariante ohne Lupine ist deutlich höher als bei den anderen Varianten. Die Messdauer war bei der Variante ebenfalls am längsten. Nach Abschluss der Messung zeigte sich bei der Probe ohne Lupine die stärksten optischen Veränderungen. Mit zunehmenden Lupinenanteil wiesen die Proben nach der Schnelltrocknung geringere Bräunung auf und das Brät behielt mehr seine Form, anstatt durch den Erhitzungsprozess zu zerfließen.

Tabelle 14: Trockenmasse [%]

Varianten	n	Gruppe	TM [%]	Stabw.
30 % Lupine	3	A	32,56	0,070
20 % Lupine B	3	B	35,58	0,365
20 % Lupine A	3	B	35,90	0,120
10 % Lupine	3	C	39,12	0,040
0 % Lupine	3	D	43,40	1,265

4.1.6. Farbmessung

Die Helligkeit der Proben ist in Tabelle 15 dargestellt. Die Variante ohne Lupine ist zu allen anderen Varianten signifikant unterschiedlich, außer der Variante B mit 20 % Lupine. Die Proben mit Lupinenanteil sind messbar dunkler, als die Probe ohne Lupine. Der Unterschied ist geringfügig. Es ist keine eindeutige Korrelation zwischen Lupinenanteil und Helligkeit erkennbar. So ist die Helligkeit der Proben 10 %, 20 % A und 30 % fast gleich. Die Standardabweichung der Bratwurstvariante ist hier ebenfalls am höchsten. Es ist wahrscheinlich, dass bei der zufälligen Probenauswahl Proben mit unterschiedlichen Gewürzmengen in der Schnittfläche erfasst wurden, was zu einer erhöhten Streuung der Messwerte geführt haben könnte. Die farblichen Unterschiede der Rot-Grün-Achse sind in Tabelle 16 dargestellt. Die Proben 0 % und 10 % weisen einen Unterschied zu den Proben 20 % B und 30 % auf. Probe 20 % A ist keiner Gruppe klar zuzuordnen. Die farblichen Unterschiede der Blau-Gelb-Achse des LAB-Systems sind in Tabelle 17 zu sehen. Zwischen allen Varianten mit variierendem Lupinenanteil ist ein Unterschied festzustellen, außer zwischen Variante 20 % B Lupine und 30 % Lupine. Die gelbliche Farbe nimmt messbar mit dem Anteil der Lupine zu.

Tabelle 15: Farbmessung Helligkeit

Varianten	n	Gruppe	L*	Stabw.
0 % Lupine	5	A	72,40	1,997
20 % Lupine B	5	AB	73,69	0,467
10 % Lupine	5	B	74,78	0,292
30 % Lupine	5	B	75,21	0,523
20 % Lupine A	5	B	75,42	0,562

Tabelle 16: Farbmessung Rot-Grün-Achse

Varianten	n	Gruppe	*a	Stabw.
10 % Lupine	5	A	2,07	0,072
0 % Lupine	5	A	2,20	0,131
20 % Lupine A	5	AB	2,31	0,113
20 % Lupine B	5	B	2,49	0,066
30 % Lupine	5	B	2,53	0,206

Tabelle 17: Farbmessung Blau-Gelb-Achse

Varianten	n	Gruppe	b*	Stabw.
0 % Lupine	5	A	16,06	0,299
10 % Lupine	5	B	18,85	0,249
20 % Lupine A	5	C	21,61	0,588
20 % Lupine B	5	CD	23,65	2,425
30 % Lupine	5	D	24,08	0,649

Die Bewertung des Farbabstandes der Variante ohne Lupine zu den anderen Varianten wird in Tabelle 18 angegeben. ΔE^* ist eine Beschreibung der Position der Farbe im Farbraum und mit dem Satz des Pythagoras aus den Farbkoordinaten $L^*a^*b^*$ errechnet. Die Differenz von zwei Farbabständen (ΔE^*) ist ein Maß für das Vergleichen von Farben. Die Bewertung des farblichen Abstands ist der schulischen Bewertung von 1-6 gleich, wobei 1 das beste und 6 das schlechteste Ergebnis darstellt (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018). Der erkennbare farbliche Unterschied deckt sich mit der visuellen Wahrnehmung der Prüfpersonen der einfach beschreibenden Prüfung (Tabelle 20). Die Abweichung der beiden Varianten mit 20 % Lupinen zur originalen Bratwurst ist auf die unterschiedlichen Messwerte bei der Helligkeit (Tabelle 15) zurückzuführen. Die Unstimmigkeit/Ungenauigkeit bei Helligkeit (Tabelle 15) und der Rot-Grün-Achse (Tabelle 16) zeigen trotz hoher Untersuchungsanzahl (25 Messungen pro Variante) die Heterogenität der Farbe des Bräts. Es wurde bewusst auf eine weitere Vorzerkleinerung/Homogenisierung verzichtet, obwohl es die Messungenauigkeit erhöht, da Proben teilweise gelbe Stücke der Lupine enthalten. Dessen Oberfläche könnte durch eine Zerkleinerung vergrößert werden und die Messungen der Proben könnten gelber ausfallen, als die eigentlichen Produkte sind. Eine Abnahme der Helligkeit und eine Zunahme der Farbe Gelb ergeben einen mit dem bloßen Auge erkennbaren Unterschied, der mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Zugabe der Lupine zurückzuführen ist.

Tabelle 18: Bewertung farblicher Unterschied bei unterschiedlichen Lupinenanteilen zur Variante ohne Lupine (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018)

	Differenz ΔE^*	Unterschiedsanteil	Note
0 %-10%	2,95	Erkennbar	2
0 %-20% A	4,29	Mittlere Differenz	3
0 %-20% B	3,26	Erkennbar	2
0 %-30%	4,82	Mittlere Differenz	3

4.1.7. Texture Analyser

Bei den Texturmessungen der Bratwurstproben mit Darm gab es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 46). Die Festigkeit des Darms hat einen zu großen Einfluss auf den gemessenen Widerstand, sodass die Festigkeit des Bräts nicht erfasst werden konnte. Die Messwerte zu der Festigkeit der Bratwürste ohne Darm sind in Tabelle 19 zu finden. Die Variante ohne Lupine weist einen signifikanten Unterschied zu den Varianten

mit 20 % Lupinen auf. Mit Ausnahme der Variante mit 30 % Lupinen sinkt der der Widerstand des Bräts messbar mit zunehmenden Lupinenanteil. Bei dem Messverfahren wird eine Klinge langsam durch die Probe gedrückt und der Widerstand an der Klinge gemessen. Die vermehrt enthalten Stücke der Lupine in dem Brät mit 30 % können den gemessenen Widerstand der Grundmasse nach oben verfälschen, wenn sie beim Durchdringen der Klinge vor der Klinge hergeschoben werden. So wurde die Oberfläche des Druckes der Klinge auf das Brät vergrößert und es wird mehr Kraft benötigt, um die Klinge weiter voran zu treiben. Dieser Effekt tritt auch bei Proben mit geringen Lupinenanteil auf, wird aber mit höherer Anzahl enthaltener Stücke verstärkt. Zusätzlich gilt zu beachten, dass die Bratwürste von Hand in den Darm gefüllt wurden. Die Brätfestigkeit einer Wurst ist auch davon abhängig wie „prall“ der Darm befüllt wird. Leichte Konsistenzschwankungen, die auf die Handbefüllung zurückzuführen sind, kann eine Begründung sein die Messwerte der Variante mit 30 % Lupine als ungenau zu erklären.

Tabelle 19: Texturmessung ohne Darm [N]

Varianten	n	Gruppe	F [N]	Stabw.
20 % Lupine A	9	A	6,87	0,438
20 % Lupine B	9	AB	7,00	0,846
30 % Lupine	9	ABC	7,74	0,907
10 % Lupine	9	BC	8,13	0,875
0 % Lupine	9	C	8,98	1,323

4.2. Sensorische Analyse

Der Prüfraum für die Sensorik entspricht den Mindestanforderungen laut DIN (DIN-EN-ISO-8589, 2014). Der Verkostungsraum bietet isolierte Verkostungsplätze mit standardisierter Tageslichtbeleuchtung. Die Raumtemperatur betrug 20,4 °C mit einer Luftfeuchtigkeit von 54 %. Ein leichter Überdruck im Verkostungsraum sorgt für Geruchsneutralität. Die Proben wurden in Probenbechern aus Kunststoff dargeboten. In der Vorbereitung wurden die Bratwurstvarianten in einer Pfanne angebraten und bis zum Kleinschneiden und Verteilen in den Probenbecher warmgehalten. Für die 5 Varianten wurde jeweils eine zufällige dreistellige Zahl generiert und die Probenbecher wurden mit der jeweiligen Zahl beschriftet. Die Reihenfolge der Probenbecheranordnung wurde ebenfalls zufällig für jede Prüfperson generiert. Mit den Prüfproben wurde Wasser zur Geschmacksneutralisierung sowie Prüfbögen für die einfach beschreibende Prüfung und die hedonische Prüfung gereicht. Ungeschulte Prüfpersonen erhielten einen Prüfbogen für die hedonische Prüfung. Die Prüfbögen sind im Anhang zu finden. Die Abbildung 9 im Anhang zeigt die Darreichungsform der Proben und Prüfbögen.

4.2.1. Einfach beschreibende Prüfung

Tabelle 20: Gruppenprotokoll einfach beschreibende Prüfung

Probe/ Merkmal	0 %	10 %	20 % A	20 % B	30 %
Farbe/ Form	Grau (7) Beige (5) Gelb (3) hell (5) dunkle Partikel (4)	Grau (7) Beige (4) Gelb (10) hell (1) dunkle Partikel (4) gelbe Partikel (4)	Grau (6) Gelb (9) Beige (5) dunkle Partikel (3) gelbe Partikel (4)	Grau (6) Gelb (9) Beige (4) dunkle Partikel (4) gelbe Partikel (4)	Grau (4) Gelb (11) Beige (2) dunkle Partikel (5) gelbe Partikel (7) trocken (2)
Geruch	Fleischig (8) Röstaroma (8) arttypisch (3) würzig (4) rauchig (2) fettig (2)	fleischig (5) Röstaroma (6) arttypisch (3) würzig (3) rauchig (2) fettig (2)	fleischig (6) Röstaroma (5) arttypisch (3) rauchig (2) fettig (2) nussig (2)	fleischig (6) Röstaroma (6) arttypisch (3) rauchig (2) fettig (2) nussig (2)	fleischig (3) Röstaroma (6) arttypisch (3) rauchig (2) fettig (3) nussig (3)
Geschmack	fleischig (6) salzig (6) Röstaroma (5) würzig (4) arttypisch (2) fettig (3) pfeffrig (3) kümmelig (3)	fleischig (4) salzig (5) Röstaroma (5) würzig (4) arttypisch (2) fettig (2) pfeffrig (3) kümmelig (3) nussig (2)	fleischig (5) salzig (4) Röstaroma (3) würzig (4) arttypisch (2) fettig (2) pfeffrig (3) kümmelig (2) nussig (3)	fleischig (4) salzig (5) Röstaroma (4) würzig (3) arttypisch (3) fettig (2) pfeffrig (3) kümmelig (3) nussig (3)	fleischig (3) salzig (4) Röstaroma (3) neutral (3) arttypisch (2) fettig (2) nussig (6) sauer (2) Fremdaroma (2)
Textur	weich (4) saftig (5) bissfest (5) fein (5) gummiartig (3) zäh (1)	weich (5) saftig (4) bissfest (3) fein (4) gummiartig (2) stückig (2) zäh (1)	weich (4) saftig (4) bissfest (3) trocken (2) faserig (2) stückig (3) krümelig (4)	weich (4) saftig (3) bissfest (3) trocken (3) faserig (2) stückig (4) krümelig (5)	weich (6) saftig (2) bissfest (2) trocken (4) faserig (3) stückig (5) krümelig (6)
Summe der Merkmale	104	102	97	102	104

In Tabelle 20 sind die Beschreibungen der Prüfpersonen zusammengefasst dargestellt. Ähnliche Merkmale wurden gebündelt. Bei der Optik wurden die Bratwürste mit den Farben Grau, Beige und Gelb beschrieben und oft als hell wahrgenommen. Das Brät wurde als fein mit dunklen Partikeln beschrieben. Ab 20 % Lupine wurde die Probe nicht mehr als hell beschrieben. Ab einem Lupinenanteil von 10 % wurde die Farbe Gelb von fast allen Prüfpersonen genannt. Gelbe Stücken der Lupine wurden bereits ab einem Anteil von 10 % erkannt. Nur die Variante mit 30 % Lupine wurde teilweise optisch als trocken wahrgenommen.

Der Geruch ist röstig, aromatisch, würzig, fleischig und fettig. Bei 20 % und 30 % Lupine wurde teilweise ein nussiger Geruch wahrgenommen. 0 % Lupine wurde am fleischigsten wahrgenommen. 10 % und 20 % Lupine weniger fleischig und 30 % am wenigsten. Der Geruch wird ab 20 % Lupine nicht mehr als würzig beschrieben.

Der Geschmack ist salzig, herzhaft, würzig, fleischig, fettig, pfeffrig, kümmelig und oft werden Röstaromen wahrgenommen. Der fleischige Geschmack wurde bei 30 % Lupine weniger wahrgenommen. Die Bratwürste mit Lupinenanteilen wurden teilweise als weniger salzig beschrieben. Bei 30 % Lupine wird die Eigenschaft würzig gar nicht genannt, dafür wird sie als neutral beschrieben. Ab 10 % Lupine können einige Verkostende einen nussigen Geschmack wahrnehmen. Bei 30 % Lupine werden die produktuntypischen Merkmale sauer und Fremdaroma genannt. Auch werden die Merkmale pfeffrig und kümmelig nicht mehr der 30 % Lupinenwurst zugeordnet.

Die Textur wird als weich, saftig, bissfest, fein, gummiartig, faserig, trocken, stückig und krümelig beschrieben. Bei 0 % Lupinenanteil werden die Begriffe weich, saftig, bissfest, fein und gummiartig mehrfach genannt. Bei 10 % Lupine werden dieselben Begriffe verwendet, allerdings werden alle Begriffe weniger häufig genannt. Zusätzlich wird zweimal das Merkmal stückig genannt. Ab 20 % Lupine werden die Proben nicht mehr als fein beschrieben, dafür werden die Beschreibungen trocken, faserig und krümelig verwendet. Die neu auftauchenden Merkmale werden bei 30 % Lupine häufiger genannt.

4.2.2. Beliebtheitsprüfung

Die Prüfpersonen beschrieben sich selbst als Omnivor. Für die Auswertung der Ergebnisse der Beliebtheitsprüfung wurde eine einfaktorielle Welch-Anova-Analyse durchgeführt, da keine Varianzhomogenität vorliegt (Tabelle 49). Der anschließende Post hoc Test wurde nach Dunnett-T3 durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm SPSS. Die Signifikanz der Beliebtheit und der Bewertung der JAR-Skala aller untersuchten Merkmale (Biss, Saftigkeit, Fleischaroma) ist unter 0,05 (Tabelle 50). Damit muss die Nullhypothese verworfen werden. Es liegt mindestens ein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen vor. Für die Darstellungen der Penaltyanalyse der untersuchten Merkmale wurde Excel-Stat verwendet.

Tabelle 21: Beliebtheit der Bratwurstvarianten

Varianten	Gruppe	Beliebtheit	Stabw.
30 % Lupine	A	5,55	1,731
20 % Lupine B	ABC	6,20	1,823
20 % Lupine A	ABC	6,35	1,424
10 % Lupine	BC	7,15	1,040
Original	C	7,55	1,146

Der in der Tabelle 21 dargestellte Post-hoc-Test zeigt auf, dass nur die beiden Varianten mit 0 % und 30 % Lupinen klar einer Gruppe zugeordnet werden konnten. Dort sind auch die Mittelwerte der Einordnung zur Beliebtheit abgebildet. Es gibt zwei signifikante

Unterschiede zwischen den Varianten. Einmal zwischen 0 % und 30 %; und einmal zwischen 10 % und 30 % Lupine.

Zur Einordnung der sensorischen Beurteilung von Brühwürsten kann eine Bewertung unter 6 als „entspricht nicht der Qualitätserwartung“ gewertet werden. Zwischen 6,1 und 7 hat das Produkt Potenzial, muss aber weiter optimiert werden. Zwischen 7,1 und 8 entspricht das Produkt der Qualitätserwartung. Bei einer Bewertung über 8,1 kann das Produkt direkt in den Verkauf gegeben werden (Brauer, 2019). Die niedrigste Bewertung erhält die Bratwurst mit 30 % Lupinen. Mit einer durchschnittlichen Bewertung von 5,55 entspricht sie nicht der Qualitätserwartung. Die beiden Bratwurstvarianten mit 20 % Lupine werden mit 6,2 und 6,35 sehr ähnlich bewertet. Die Bratwurstvariante mit 10 % Lupine werden mit 7,15 und die Bratwurst ohne Lupine mit 7,55 am höchsten bewertet und entsprechen den Qualitätserwartungen an das Produkt.

Die Bewertung der Merkmale wurde mit der dreiteiligen JAR-Skala durchgeführt. Den Kategorien „zu wenig“, „genau richtig“ und „zu viel“ der Merkmale „Biss“, „Saftigkeit“ und „Fleischaroma“ wurden in der Rangordnung die Zahlen von 1 bis 3 zugeordnet. „Zu wenig“ ist der Zahl 1 zugeordnet und „zu viel“ der Zahl 3. Je näher der Durchschnitt der Zahl 2 ist, desto besser wurde das Merkmal von den Prüfpersonen bewertet. Die Tabelle 22 zeigt die Bewertung des Merkmales „Biss“. Die Varianten 0 % und 10 % Lupine sind zu der Variante mit 30 % Lupine signifikant unterschiedlich. Das Merkmal wurde mit steigenden Lupinenanteil zunehmend als fehlend bewertet (Abbildung 5). Zwischen 0 % und 10 % Lupine konnte kein Unterschied festgestellt werden. Die Tabelle 23 zeigt die Bewertung des Merkmales „Saftigkeit“. Wie beim Merkmal „Biss“ sind die Bratwürste mit 0 % und 10 % Lupine signifikant unterschiedlich zu der Bratwurst mit 30 % Lupine. Mit steigenden Lupinenanteil nimmt die wahrnehmbare Saftigkeit ab (Abbildung 6). Die Saftigkeit wurde bei 0 % und 10 % Lupine exakt gleich bewertet. Die Tabelle 24 zeigt die Bewertung des Merkmales „Fleischaroma“. Zwischen den Bratwürsten mit 0 % und 30 % Lupine gibt es einen signifikanten Unterschied. Mit steigendem Lupinenanteil wird auch das Fleischaroma weniger intensiv wahrgenommen (Abbildung 7). In den Abbildungen 5 bis 7 zeigen die Farben der Säulen den Anteil der Befragten der jeweiligen Merkmalsintensität. Die Farben der Säulen haben folgende Bedeutung: rot = zu viel, grün = genau richtig, blau = zu wenig. Die Varianten werden dort verkürzt wie folgt dargestellt 1= 0 %; 2= 10 %; 3= 20 % A; 4= 20 % B; 5= 30 %.

Tabelle 22: Merkmal „Biss“

Varianten	Gruppe	„Biss“	Stabw.
30 % Lupine	A	1,30	0,470
20 % Lupine A	AB	1,45	0,604
20 % Lupine B	AB	1,55	0,604
Original	B	1,80	0,523
10 % Lupine	B	1,80	0,523

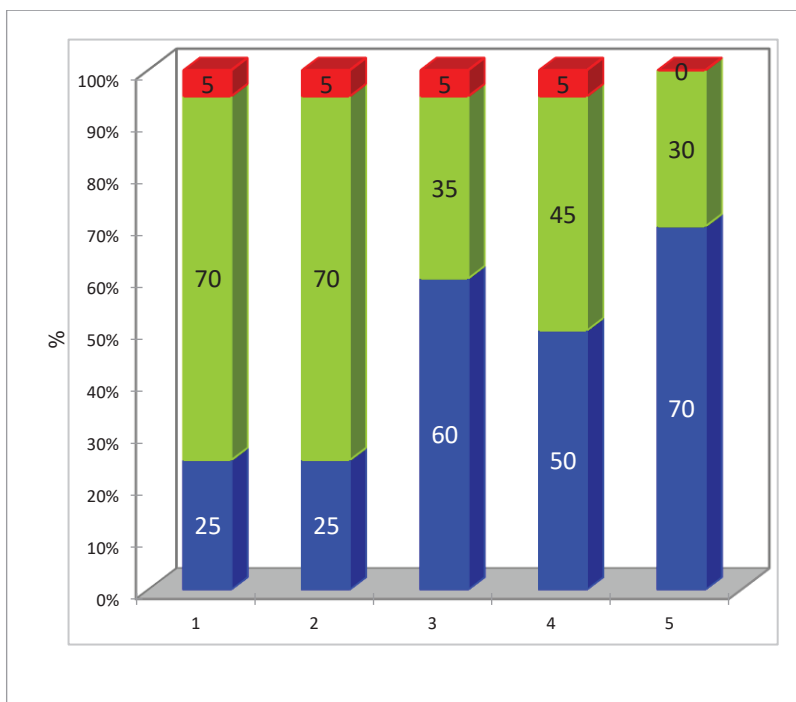


Abbildung 5: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Biss)

Tabelle 23: Merkmal "Saftigkeit"

Varianten	Gruppe	„Saftigkeit“	Stabw.
30 % Lupine	A	1,40	0,598
20 % Lupine A	AB	1,65	0,489
20 % Lupine B	AB	1,80	0,523
Original	B	1,95	0,394
10 % Lupine	B	1,95	0,394

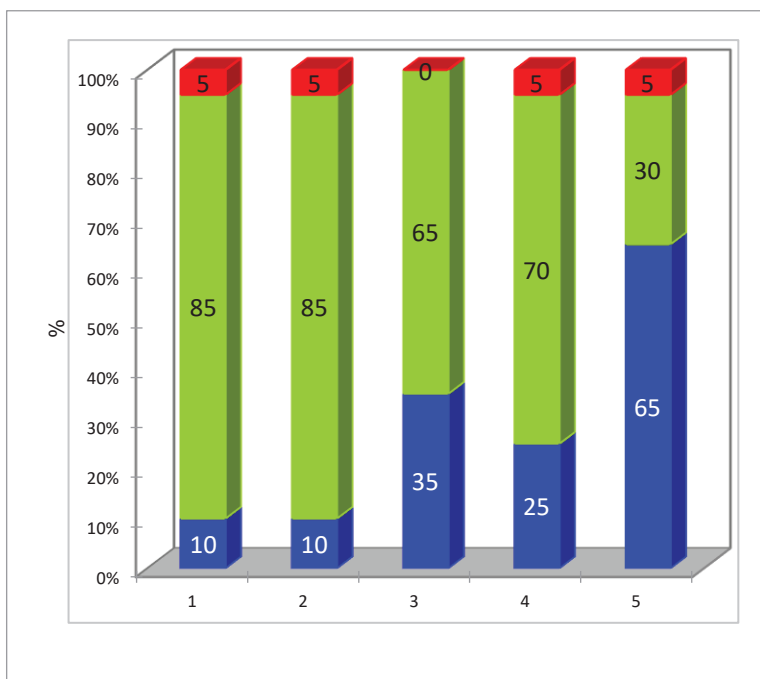


Abbildung 6: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Saftigkeit)

Tabelle 24: Merkmal "Fleischaroma"

Varianten	Gruppe	„Fleischaroma“	Stabw.
30 % Lupine	A	1,35	0,489
20 % Lupine A	AB	1,50	0,607
20 % Lupine B	AB	1,65	0,587
10 % Lupine	AB	1,75	0,550
Original	B	1,90	0,447

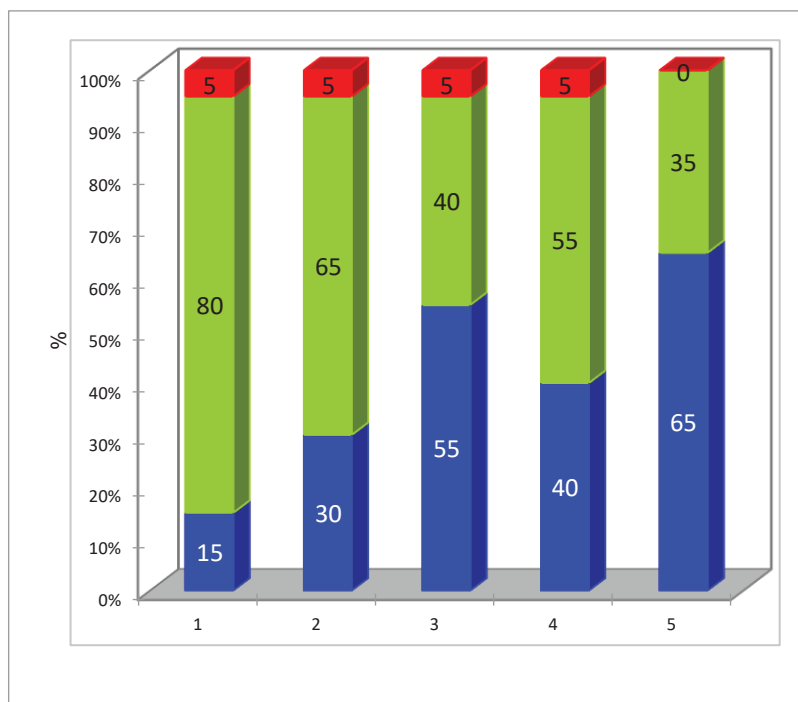


Abbildung 7: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Fleischaroma)

Die Abbildung 8 zeigt eine Übersicht der Penalty-Analyse. Auf der Y-Achse stehen die Punkte der Beliebtheitsskalen, die durchschnittlich von den Prüfenden abgezogen wurden, wenn das jeweilige Merkmal als „zu wenig“ beschrieben wurde. Alle untersuchten Merkmale haben einen signifikanten Einfluss auf die Beliebtheit (Tabelle 51). Das Fehlen der untersuchten Merkmale führt jeweils zu einer Punkteinbuße bei der Beliebtheitsskala zwischen 1,1 und 1,4.

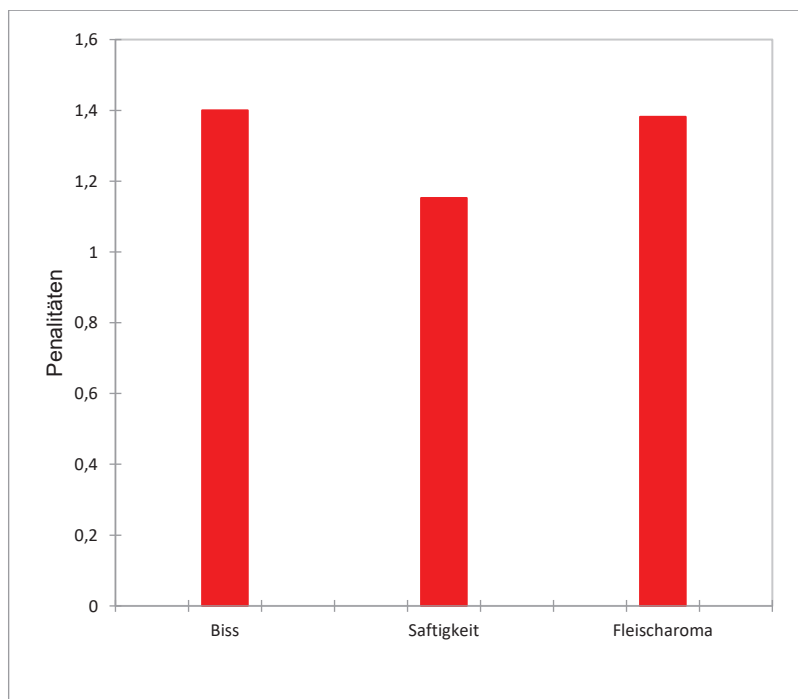


Abbildung 8: Penalty-Analyse der befragten Merkmale nach der JAR-Skala

4.3. Nährwertberechnung

Die Nährwerte in Tabelle 25 wurden durch eine Mengenkalkulation errechnet. Die Daten zu den Zutaten stammen aus dem Nährwertrechner, einer Onlinedatenbank (Nährwertrechner, kein Datum). Die Nährwerte von Lupinen wurden ausschließlich in getrockneter Form angegeben. Mit der Prozentrechnung wurden die Nährwerte der Lupine auf die gemessene Trockenmasse angepasst. Die Anpassung ist im Anhang in Tabelle 28 zu finden. Die Trockenmasse der gekochten Lupine beträgt 37,19 %. Der theoretische Nährwertgehalt der Lupine wurde auf die ermittelte Trockenmasse angepasst.

Tabelle 25: Nährwerte gebrühter Bratwürste pro 100g

	Energie [kcal]	Fett [g]	Eiweiß [g]	Kohlenhydrate [g]	Ballaststoffe [g]	Wasser [g]
Original	275,58	25,75	11,75	0,29	0,10	59,58
10 % Lupine	246,31	21,79	12,12	0,78	1,11	61,51
20 % Lupine	217,05	17,83	12,49	1,27	2,13	63,44
30 % Lupine	187,79	13,87	12,86	1,76	3,15	65,37

Grundlage für die Berechnung der in Tabelle 26 gezeigten Werte werden im Anhang von Tabelle 35 bis Tabelle 38 und Tabelle 41 dargestellt. Der BEFFE-Wert ist die Summe der einzelnen Fleischanteile in der Rezeptur (Anteilk) multipliziert mit dem vorgegebenen BEFFE-Wert der Schweinefleischklasse (BEFFE SFKk). Bei BEFFE im FE ist die Grundgesamtheit nicht die Rezeptur, sondern nur die fleischhaltigen Bestandteile (Magerfleisch, Backe und Rückenspeck). FE ist der tierische Fleischeiweißgehalt in Bezug auf alle Zutaten der Rezeptur (Gehling, Kudick, & Latz, 2009).

$$BEFFE [\%] = \sum_{k=1}^n Anteil_k [\%] * BEFFE_{SK_k} [\%]$$

$$BEFFE \text{ im FE} [\%] = \left(\frac{BEFFE [\%]}{FE [\%]} \right) * 100$$

Tabelle 26: BEFFE-, BEFFE im FE- und FE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit Lupinenanteilen

	BEFFE [%]	BEFFE im FE [%]	FE [%]
0 % Lupine	8,74	74,41	11,75
10 % Lupine	7,85	74,79	10,50
20 % Lupine	6,96	75,28	9,25
30 % Lupine	6,07	75,91	7,99

Tabelle 27: PDCAAS-Berechnung der Rohstoff- und Produktproteine der Lupinenbratwurst

	lim. AS	AAS	PD	PDCAAS
Schweineprotein	Leucin	100,0	100,0	100,0
Lupinprotein	SAA	83,2	83,0	69,1
Bratwurst 0 % Lupine	Leucin	100,0	100,0	100,0
Bratwurst 10 % Lupine	Leucin	100,0	98,3	98,3
Bratwurst 20 % Lupine	Leucin	100,0	96,6	96,6
Bratwurst 30 % Lupine	Leucin	100,0	94,9	94,9

Tabelle 27 zeigt, dass die Verwertbarkeit des enthaltenen Proteins mit steigenden Lupinenanteil geringer wird. Die Verdaulichkeit der in den Würzmitteln enthaltenen Proteine ist zu vernachlässigen. Der AAS unterschreitet bei den Bratwurstvarianten nicht den Wert 100. Es liegt keine Limitierung einer Aminosäure vor. Das Protein in den Bratwürsten ist vollständig verwertbar.

5. Auswertung und Diskussion

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer gebrühten Bratwurst mit einer Teilsubstitution des Fleisches durch weiße Lupine und die Erfassung sich verändernder technologischer und sensorischer Eigenschaften. Die Ergebnisse zeigen Unterschiede bei chemisch-physikalischen Merkmalen des Lebensmittels und deren menschliche Wahrnehmung.

5.1. Technologische Analyse

Das Quellen der Lupinensamen als Vorversuch zeigt, dass eine Quellzeit über 48 h nur sehr geringe weitere Wasseraufnahme zur Folge hat. Eine Quellzeit von 48 h wird als geeignet angesehen, da eine Quellzeit von weiteren 24 h Stunden die Massezunahme unwesentlich erhöht (weitere 3 %). Daher ist es aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll die Lupine länger als 48 h in Wasser Quellen zu lassen. Neben Aufwand und benötigter Lagerkapazität steigt mit weiterer Quellzeit das mikrobielle Risiko, was strengerer Hygieneregulungen bei der Herstellung bedeuten würde. Zusätzlich könnten längere Quellzeiten die Nährwerte der Lupine durch Auswaschen der Proteine negativ beeinflussen (Bleitgren, Gross, & Gross, 1979). Die Quellzeit könnte mit höherer Wassertemperatur und weicherem Wasser beschleunigt werden (Soloman, 2007). Der wirtschaftliche Nutzen ist auf Grund des Aufwands im Verhältnis zu der Zeitersparnis jedoch fraglich.

Die Untersuchungen der im Hauptversuch hergestellten gebrühten Lupinenbratwürste haben zusammengefasst ergeben, dass mit steigenden Lupinenanteil: der pH-Wert sinkt, der a_w -Wert steigt, der Garverlust beim Braten steigt, die Trockenmasse sinkt und die Farbe dunkler und gelber wird. Der Lupinenanteil hat auf die Trockenmasse, den pH-Wert und die gelbe Farbe einen starken Effekt (Tabelle 48). Die unterschiedlichen Zerkleinerungsmethoden von 20 % A und 20 % B haben zu keiner messbaren Produktveränderung geführt.

Der pH-Wert liegt in einem zu erwartenden Bereich für Brühwürste und ist nicht kritisch zu bewerten. Inhaltsstoffe der Lupine senken den pH-Wert geringfügig. Dies kann möglicherweise an natürlich enthaltenen organischen Säuren, wie der Phytinsäure (Schuster, 1998), oder an mikrobieller Säurebildung während der Quellung, der Lupine liegen. Alle gemessenen pH-Werte liegen in dem zu erwartenden Bereich für Wurstware von 5 bis 7,5 (Blüchel & Honikel, 2006).

Die gemessenen a_w -Werte liegen im erwarteten Bereich von 0,95 bis 0,98 für gebrühte Bratwürste. Er ist ein wesentlicher Faktor bei dem Hürdenkonzept für die Haltbarkeit von Fleischware (Sinell, 2004). Der a_w -Wert steigt bei Varianten mit Lupinen messbar an und könnte die Haltbarkeit der Produkte mit höheren Lupinenanteil negativ beeinflussen. Ein Lagertest bei weiterer Entwicklung des Produktes ist daher sinnvoll. Zusätzliche konservierende Maßnahmen müssen eventuell angewendet werden.

Die Lupine scheinen nur einen geringen Einfluss auf den Garverlust bei trockenen Garverfahren zu haben. Der Garverlust während des Bratprozesses steigt nur geringfügig an. Der erhöhte Garverlust bei trockenen Garverfahren kann einen höheren Wasseranteil (Tabelle 25) bzw. eine niedrigere Trockenmasse (Tabelle 14) der Bratwurstvarianten mit höheren Lupinenanteil als Ursache haben. Ein weiterer Grund könnte ein schwächeres hitzeresistentes Wasserbindevermögen sein, das durch den verringerten Magerfleischanteil begründet ist. Dessen Proteine spielen eine wesentliche Rolle bei Strukturausbildung des Bräts. Ein geringerer Anteil an myofibrillären Proteinen sorgt für eine geringe Stabilität der Brätstruktur (Branscheid, Honikel, Lengerken, & Troeger, 2007). Bei der Zubereitung der gebrühten Bratwürste in der Pfanne mit Öl kann ein erhöhter Austritt von Wasser zu Spritzgefahr von heißem Öl führen. Bei mehrfacher Zubereitung des verzehrfähigen Lebensmittels wurden keine merklichen Unterschiede bei den Brateigenschaften festgestellt.

Die hergestellten Produkte sind dunkler und gelber als die erwarteten Farbwerte von Schweinefleisch (Blüchel & Honikel, 2006). Enthaltene Gewürze, der Garprozess und Oxidation sind wahrscheinlich die Gründe der Abweichung. Beim Vergleich der untersuchten Produktvarianten untereinander sind lupinenhaltige Bratwürste dunkler und gelber als das Referenzprodukt ohne Lupine. Dieser Unterschied ist auch bei Tageslicht mit dem bloßen Auge zu sehen. Eine farbliche Abweichung ist häufig eine Konsequenz bei der Herstellung von hybriden Fleischprodukten (Grasso & Goksen, 2023). Die Farbe könnte sich während der Lagerung weiterhin verändern. Eventuell treten farbliche Unterschiede dann stärker hervor, da die färbenden Carotinoide der Lupine in das Brät und in den Darm diffundieren könnten. Daher wäre auch hierfür ein Lagertest sinnvoll. Da die Farbe der Bratwurst für den Kunden ein wichtiges Verkaufskriterium ist (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017), ist der Gedanke eines Zusatzes von farbgebenden Bestandteilen bei einer weiteren Entwicklung nicht abwegig. Bei guter Kommunikation und/oder Marketing könnte die abweichende Farbe als Alleinstellungsmerkmal genutzt werden (Grasso & Goksen, 2023).

Bei der Texturanalyse haben im Brät enthaltene Stückchen zu Messunsicherheiten geführt. Auch würden maschinell befüllte Würste wahrscheinlich genauere Messwerte hervorbringen. Allein basierend auf den Messwerten des Texture Analysers kann nicht eindeutig gesagt werden, dass die Festigkeit abnimmt. Es gibt aber, mit Ausnahme der Variante mit 30 % Lupine, Tendenzen. In Kombination mit den Daten von der einfach beschreibenden Prüfung, kann man von einer Texturerweichung bei steigenden Lupinenanteil ausgehen. Die Substitution von Lupinen in Fleischware hat wie erwartet zu einer Texturveränderung geführt (Grasso & Goksen, 2023) (Broucke, Duquenne, Witte, Baune, & Lammers, 2022).

Die Ergebnisse des Schnellfeuchtebestimmers zeigen, dass die Trockenmasse mit steigenden Lupinenanteil eindeutig abnimmt. Das war zu erwarten, da Lupinen mit einem hohen Feuchtegehalt auch ein Teil des Rückenfetts mit sehr niedrigen Feuchtegehalt ersetzt haben. Die Trockenmasse hat einen Einfluss auf die anderen Messwerte. Das gilt es bei der Aussagekraft im Vergleich von Messwerten der Varianten untereinander

zu beachten. Bei weiteren Untersuchungen sollte eine gleichbleibende Trockenmasse der verschiedenen Rezepturen in Betracht gezogen werden. Es hätte einige Vorteile. Dadurch wird nicht nur die Vergleichbarkeit der analytischen Messwerte verbessert, sondern ermöglicht eventuell den Claim „fettreduziert“ für das Produkt zu nutzen. Dabei muss das Produkt 30 % weniger Fettgehalt aufweisen, bei gleicher Trockenmasse (Brauer, 2019). Es würden aber auch neue Probleme auftauchen. Für die Erhöhung/Anpassung der Trockenmasse gibt es 3 Möglichkeiten: geringere Eiszugabe, Lupine mit weniger Wassergehalt zugeben oder das Fleisch-Fett-Verhältnis verändern. Die Reduktion der Scherbeneismenge würde eine verkürzte Kutterzeit bedeuten. Bei einem Lupinenanteil von 20 % müsste die Eismenge um 45 % reduziert werden, um eine gleiche Trockenmasse, wie die Variante im Hauptversuch ohne Lupine zu erreichen (Tabelle 52, Tabelle 41). Die Menge an zugegebenen Eis beeinflusst die Dauer des Kutterungsprozesses erheblich. Die Kutterungsdauer würde mit steigenden Lupinenanteil drastisch verkürzt werden. Es ist möglich mit der Verwendung von teilgefrorenem Fleisch der Verkürzung der Kutterdauer entgegen zu wirken (Brauer, 2019). Die Erzeugung einer ausreichenden Brätstruktur könnte technologisch herausfordernd sein und ist mit einer reinen Eiskühlung möglicherweise nicht umsetzbar. Alternativ könnte für eine gleichbleibende Trockenmasse die Lupine solange gequollen werden, bis sie die gleiche Trockenmasse wie der zu ersetzende Fleischanteil hat. Dort würde sich die bereits bestehende technologische Herausforderung einer ausreichenden Zerkleinerung erhöhen. Wolfen und kuttern der Lupine würde wahrscheinlich für ein vom Verbraucher akzeptiertes Produkt nicht genügen. Zudem haben Lupine ein hohes Wasserbindevermögen. Das fehlende Wasser würde die Lupine bei Lagerung aufnehmen und das Produkt vermutlich trocken erscheinen lassen. Ein trockener Anblick ist ein Qualitätsmangel für den Verbraucher (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017). Bei der Anpassung des Fett-Magerfleischverhältnisses muss für eine höhere Trockenmasse der Fettanteil erhöht und der Magerfleischanteil gesenkt werden. Der geringe Magerfleischanteil verringert gleichzeitig die Menge der strukturgebenden Proteine des Bräts. Wasser- und Fettbindekapazität könnten sich verringern (Latz, 2008). Zusätzlich muss mehr Fett in die Brätstruktur eingebunden werden. Bei einem Anteil von 20 % Lupine würde der Fettgehalt im Vergleich zu der Variante des Hauptversuchs ohne Lupine um 32 % steigen (Tabelle 53, Tabelle 41). Ernährungsphysiologisch ist gerade die Erhöhung des tierischen Fettanteils mit hohem Anteil an gesättigten Fettsäuren nicht sinnvoll (DGE, 2026). Auch das Merkmal „Fleischaroma“ könnte weniger stark ausgeprägt sein, da der Fleischgeschmack zum großen Teil vom Magerfleisch kommt (Latz, 2008). Das würde wahrscheinlich eine geringere Beliebtheit des Produktes nach sich ziehen (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017).

5.2. Sensorik

Die Ergebnisse der einfach beschreibenden Prüfung zeigen klare Unterschiede zwischen den Varianten des Hauptversuches auf. Optisch verändern sich die Proben nur in wenigen Merkmalen. Diese verändern sich dafür deutlich. Mit steigenden Lupinenanteil werden die Proben als gelber und dunkler wahrgenommen und es sind zunehmend gelbe Partikel im Brät zu erkennen. Die olfaktorische Wahrnehmung der Proben verändert sich nur geringfügig. Mit steigenden Lupinenanteil nehmen die Nennungen der Merkmale fleischig und würzig ab, dafür wird das Merkmal nussig genannt. Die geschmackliche Wahrnehmung der Proben verändert sich deutlich. Mit steigenden Lupinenanteil nehmen die Nennungen der geschmackstypischen Merkmale ab und produktuntypische Beschreibungen kommen vermehrt vor. Die Abnahme des Merkmals würzig und spätere Nennung des Merkmals neutral deuten auf eine geschmacksmaskierende Wirkung der Lupine hin. Die deutlichste Änderung zwischen den Proben ist bei der Textur. Mit steigenden Lupinenanteil nehmen die Nennungen der Bissfestigkeit, Saftigkeit und Feinheit ab. Die Nennungen der Merkmale trocken, faserig, krümelig nehmen zu. Somit werden vermehrt artuntypische Beschreibungen bei steigendem Lupinenanteil verwendet. In diesem Kontext sind solcherlei Abweichungen negativ zu bewerten, da die Nichterfüllung der Erwartung des Konsumenten mit einer Qualitätsminderung in Verbindung steht. Die Betrachtung der Beliebtheitsprüfung bestätigt diese Vermutung. Mit zunehmenden Lupinenanteil sinkt die Beliebtheit und sinken die Merkmalsausprägungen von „Biss“, „Saftigkeit“ und „Fleischaroma“. Bei der hedonischen Prüfung wird die gebrühte Bratwurst bis zu einem Lupinenanteil von 20 % als vorwiegend positiv wahrgenommen. Der Bewertung von Brühwürsten nach Brauer (Brauer, 2019), fallen die Produktvarianten in drei verschiedene Kategorien. Die Bratwurstvarianten ohne Lupine und mit 10 % entsprechen den Qualitätserwartungen an das Produkt. Die Varianten mit 20 % Lupinen haben Potential, müssen aber optimiert werden. Die Bratwurstvariante mit 30 % Lupinen entspricht nicht den Qualitätserwartungen. Das entspricht der erwarteten Akzeptanz bei maximal 25-30 % Pflanzenanteil (Grasso & Goksen, 2023).

Der Fettgehalt steht mit dem Merkmal Saftigkeit und der Magerfleischanteil mit dem Merkmal Fleischaroma in Verbindung (Latz, 2008). Daher ist die Abnahme der Merkmale bei sinkenden Anteilen nachvollziehbar. Auch der geringere Biss mit höheren Lupinenanteil ist ein erwartbares Ergebnis. Die Pflanzenproteine ersetzen nicht die emulgierenden und gelbildenden Eigenschaften der tierischen Proteine (Grasso & Goksen, 2023). Alle Merkmale haben bei geringerer Ausprägung einen Einfluss auf die Beliebtheit. Dabei bringen Biss und Fleischaroma die erwartet höchsten Abzüge bei der hedonischen Bewertung, wobei Saftigkeit ebenfalls relevant für die Beliebtheit ist (Neville, Tarrega, Hewson, & Foster, 2017). Die Anzahl an verkostenden Personen bei der hedonischen Prüfung liegt mit 20 Personen unter der Mindestmenge von 60 für ein aussagekräftiges Ergebnis (DIN-EN-SO-11136, 2020). Dies gilt es zu berücksichtigen.

5.3. Fazit

Es konnte eine mit Lupinen versetzte Bratwurst entwickelt werden. Sensorische Unterschiede zum Referenzprodukt konnten bereits bei der kleinsten untersuchten Lupinenmenge festgestellt werden. Die Variante mit 10 % Lupinen hat eine ausreichend hohe Bewertung bei der Beliebtheit erzielt, um für eine potentielle Marktablierung in Erwägung gezogen werden zu können. Mit weiteren Rezept- und/oder Herstellungsoptimierungen kann der Lupinenanteil möglicherweise auf 20 % erhöht werden. Der Herstellungsprozess mit der Zerkleinerung der Lupine mittels Fleischwolf und Kutter sollte beibehalten werden. Die untersuchte alternative Zerkleinerung der Variante 20 % B ist aufwendiger, benötigt zusätzlich einen leistungsstarken Mixer und verkürzt die Kuttterungszeit, ohne messbare Unterschiede zu erzielen. Die Verkehrsbezeichnung „Bratwurst“ ist rechtlich für die Lupinenbratwürste nicht erlaubt, weil der vorgeschriebene Mindestbeffewert für gebrühte Bratwürste von 8 % unterschritten wird (BMLEH, 2025). Die Bezeichnung „Bratwurstzubereitung“ wäre ein möglicher Ansatz für eine korrekte Produktbezeichnung. Es ist möglich, dass eine solche Betitelung von Kunden negativ aufgenommen werden kann. Ähnlich wie bei herkömmlich fettreduzierten Brühwürsten stellt die hohe Menge an eingebrachten Eigenwasser eine Herausforderung für eine gleichbleibende Trockenmasse da (Brauer, 2019). Der nussige Geschmack könnte als Alleinstellungsmerkmal des Produktes genutzt werden und sollte nicht verändert werden. Der Einfluss des geschmacklichen Merkmals „nussig“ auf die Beliebtheit sollte dazu untersucht werden. Durch die maskierende Wirkung der Lupine, scheint eine geringfügige Erhöhung oder Veränderung der Gewürzmischung sinnvoll. Mit Veränderung ist gemeint, dass die Salzmenge eventuell nicht erhöht werden sollte, aber die anderen Bestandteile Pfeffer, Majoran, Kümmel hingegen schon. Weitere Anpassungen der Konsistenz und Textur an das Referenzprodukt entsprechen mehr der Qualitätserwartung des Verbrauchers an die Produktkategorie von Brühwürsten und würde sich vermutlich positiv auf die Akzeptanz des Produktes auswirken. Ein höherer Zerkleinerungsgrad der Lupine und eine höhere Bissfestigkeit des Bräts sind erstrebenswert und sollten Ziele bei weiterer Entwicklung sein. Die untersuchten Merkmale Biss, Saftigkeit und Fleischaroma können als Orientierung zur Produktoptimierung genutzt werden.

Wenn unverarbeitete Lupine verwendet werden sollen, sollten die Probleme einer nicht ausreichenden Zerkleinerung und des hohen Eigenwasseranteils der Lupine optimiert werden. Eine andere Vorbehandlung der Lupine wäre dafür ein Ansatzpunkt. Für stärkere Aussagekraft der Messdaten sollte die Trockenmasse weiterer Produktvarianten gleich sein. Für eine verlässlichere sensorische Auswertung sollten bei der einfach beschreibenden Prüfung die Prüfpersonen im Vorhinein für die Produktkategorie explizit geschult werden. Zudem sollte die Anzahl an befragten Personen bei der Beliebtheitsprüfung erhöht werden. Eine Marktanalyse für lupinenhaltige Produkte wäre ebenfalls sinnvoll. Aktuell sind Produkte solcher Art eher Nischenprodukte, aber mit Wachstumspotential durch steigende Nachfrage tierischer Ersatzprodukte.

6. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit bestand darin, eine gebrühte Bratwurst zu entwickeln, bei der ein Teil des Schweinefleisches durch weiße Lupine (*Lupinus albus*) ersetzt wird. Im Fokus stand die Entwicklung eines sogenannten Hybridproduktes sowie die Untersuchung der Auswirkungen der pflanzlichen Teilsubstitution auf technologische, sensorische und ernährungsphysiologische Eigenschaften.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein steigender Lupinenanteil deutliche Veränderungen der Produkteigenschaften bewirkt. Mit zunehmender Substitution sinken der pH-Wert, die Trockenmasse sowie die Brätfestigkeit. Gleichzeitig steigen der a_w -Wert und der Bratverlust. Darüber hinaus werden die Produkte sichtbar dunkler und gelblicher. Die Veränderungen sind insbesondere auf die unterschiedlichen funktionellen Eigenschaften der pflanzlichen Proteine, einem hohen Wassergehalt und enthaltene Carotinoide zurückzuführen.

Auch sensorisch zeigt sich ein klarer Einfluss des Lupinenanteils. Mit zunehmender Substitution nimmt die Beliebtheit der Produkte ab. Während die Varianten mit 0 % und 10 % Lupine den Qualitätserwartungen entsprechen, weisen Produkte mit 20 % Lupinenanteil bereits Optimierungsbedarf auf. Eine Substitution von 30 % erfüllt die Erwartungen an eine typische Brühwurst hingegen nicht mehr ausreichend. Besonders die Textur verändert sich deutlich. Die Produkte werden als trockener, faseriger und weniger saftig wahrgenommen, während erwartete Merkmale wie Biss und Fleischaroma abnehmen. Ernährungsphysiologisch wirkt sich der Einsatz von Lupinen positiv auf den Fettgehalt aus, der mit steigender Substitution reduziert wird. Gleichzeitig nimmt die Proteinverwertbarkeit geringfügig ab, bleibt jedoch weiterhin auf einem hohen Niveau.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Herstellung einer lupinenhaltigen Bratwurst technisch möglich ist. Eine Substitution von etwa 10 % Lupine stellt zum aktuellen Stand den besten Kompromiss zwischen sensorischer Akzeptanz und Nachhaltigkeitsaspekten dar. Höhere Substitutionsgrade sind grundsätzlich realisierbar, erfordern jedoch weiterführende technologische und sensorische Optimierungen, um die Qualitätserwartungen der Verbraucher zu erfüllen.

7. Anhang

Tabelle 28: Nährwertberechnung gegarter Lupine

	Energie [kcal]	Fett [g]	Eiweiß [g]	Kohlenhydrate [g]	Ballaststoffe [g]	Wasser [g]
Lupinenschrot	362	9	43	13	27	3
Lupine, gegart	136,36	3,39	16,20	4,90	10,17	62,81

Tabelle 29: Nährwerte produktrelevanter Pflanzenstoffe reif und gegart [g/100 g] (Nährwertrechner, kein Datum)

	Energie [kcal]	Fett	Eiweiß	Kohlen- hydrate	Ballast- stoffe	Wasser
Linsen	115	1	9	18	4	66
Sojabohnen	147	8	15	3	10	60
Lupine	135	3	16	5	10	63
Ackerbohnen	99	1	11	12	12	62
Erbse	145	1	12	22	9	53

Tabelle 30: Referenzmuster Aminosäurebedarf für verschiedene Altersgruppen in Jahren (FAO, 2011)

	<0,5 Jahre	1 – 2 Jahre	3 – 10 Jahre	11 – 14 Jahre	15 – 18 Jahre	>18 Jahre
Histidin	20	18	16	16	16	15
Isoleucin	32	31	30	30	30	30
Leucin	66	63	61	61	60	59
Lysin	57	52	48	48	47	45
SAA	27	25	23	23	23	22
AAA	52	46	41	41	40	38
Threonin	31	27	25	25	24	23
Tryptophan	8,5	7	6,6	6,6	6,3	6
Valine	43	41	40	40	40	39

Tabelle 31: Im Protein enthaltene essentielle Aminosäuren [mg/g] (Nährwertrechner, kein Datum)

	Linse	Sojabohne	Lupine	Ackerbohne	Erbse
Isoleucin	43,89	48,80	44,05	40,36	56,08
Leucin	70,22	81,00	74,84	70,55	75,17
Lysin	68,22	58,20	52,74	64,55	68,17
Methiodin	7,78	16,67	6,95	7,09	10,00
Cystein	8,78	16,67	12,19	8,09	12,00
Phenylalanin	48,78	56,07	39,16	43,36	48,08
Tyrosin	31,22	35,33	37,09	32,27	35,08
Threonin	39,00	42,60	36,33	34,27	39,08
Tryptophan	8,78	12,47	7,88	8,09	9,00
Valin	52,67	49,87	41,19	44,36	55,17
Histidin	23,44	23,93	28,12	23,18	24,08

Tabelle 32: AAS [%] der essentiellen Aminosäuren

	Linse	Sojabohne	Lupine	Ackerbohne	Erbse
Isoleucin	146,3	162,7	146,8	134,5	186,9
Leucin	115,1	132,8	122,7	115,6	123,2
Lysin	142,1	121,3	109,9	134,5	142,0
SAA	72,0	144,9	83,2	66,0	95,7
AAA	195,1	222,9	186,0	184,5	202,8
Threonin	156,0	170,4	145,3	137,1	156,3
Tryptophan	133,0	188,9	119,5	122,6	136,4
Valin	131,7	124,7	103,0	110,9	137,9
Histidin	146,5	149,6	175,7	144,9	150,5

Tabelle 33: AAS [%] der essentiellen Aminosäuren von Hybridprodukten mit 20 % Pflanzenanteil

	Hybrid Linse	Hybrid Sojabohne	Hybrid Lupine	Hybrid Ackerbohne	Hybrid Erbse
Isoleucin	151,9	156,0	152,5	149,2	161,2
Leucin	114,9	119,9	117,6	115,1	117,3
Lysin	169,9	161,0	160,2	167,1	170,5
SAA	144,1	156,3	141,6	139,8	148,3
AAA	186,9	195,8	186,5	185,1	190,0
Threonin	172,2	174,4	169,0	167,4	173,0
Tryptophan	160,6	173,1	155,5	157,2	161,6
Valin	128,3	126,8	121,9	124,0	130,5
Histidin	199,7	194,6	203,9	197,2	200,7

Tabelle 34: Verdaulichkeit der Proteine von Leguminosen bei heranwachsenden Schweinen (CVB, 2016)

	Verdaulichkeit [%]
Lupine	83
Soja	86
Linse	83
Ackerbohne	70
Erbse	86

Tabelle 35: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst

Zutat	Menge [kg]	Anteil	Klasse	BEFFE [%]	BEFFE [kg]
Magerfleisch	0,47500	0,47500	S II	17,5	0,08313
Backe	0,05000	0,05000	S VI	7	0,00350
Rückenspeck	0,26138	0,26138	S VIII	0,3	0,00078
Eis	0,18750	0,18750			
Kutterhilfsmittel	0,00500	0,00500			
Gewürze	0,02113	0,02113			
Gesamt	1	1			0,08740
Masse Fleisch	0,78638				

Tabelle 36: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 10 % Lupine

Zutat	Menge [kg]	Anteil	Klasse	BEFFE [%]	BEFFE [kg]
Magerfleisch	0,42500	0,42500	S II	17,5	0,07438
Backe	0,05000	0,05000	S VI	7	0,00350
Rückenspeck	0,21138	0,21138	S VIII	0,3	0,00063
Lupine gemessen	0,10000	0,10000			
Eis	0,18800	0,18800			
Kutterhilfsmittel	0,00450	0,00450			
Gewürze	0,02113	0,02113			
Gesamt soll	1	1			0,07851
Masse Fleisch	0,68638				

Tabelle 37: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 20 % Lupine

Zutat	Menge [kg]	Anteil	Klasse	BEFFE [%]	BEFFE [kg]
Magerfleisch	0,37500	0,375	S II	17,5	0,06563
Backe	0,05000	0,05	S VI	7	0,00350
Rückenspeck	0,16138	0,161375	S VIII	0,3	0,00048
Lupine gemessen	0,20000	0,20000			
Eis	0,18850	0,18850			
Kutterhilfsmittel	0,00400	0,00400			
Gewürze	0,02113	0,02113			
Gesamt	1	1			0,06961
Masse Fleisch	0,58638				

Tabelle 38: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 30 % Lupine

Zutat	Menge [kg]	Anteil	Klasse	BEFFE [%]	BEFFE [kg]
Magerfleisch	0,32500	0,32500	S II	17,5	0,05688
Backe	0,05000	0,05000	S VI	7	0,00350
Rückenspeck	0,11138	0,11138	S VIII	0,3	0,00033
Lupine gemessen	0,30000	0,30000			
Eis	0,18900	0,18900			
Kutterhilfsmittel	0,00350	0,00350			
Gewürze	0,02113	0,02113			
Gesamt	1	1			0,06071
Masse Fleisch	0,48638				

Tabelle 39: Nährwerte verwendeter Rohstoffe in g/100g

	Mager- fleisch, Schwein	Backe, Schwein	Rücken- speck, Schwein	Lupine	Pfeffer	Majoran	Kümmel
Energie [kcal]	161	299	697	136,36	285	287	362
Fett	9	26	77	3,39	3	7	15
Eiweiß	20	17	5	16,20	11	13	20
Kohlenhydrate	0	0	0	4,90	52	43	37
Ballaststoffe	0	0	0	10,17	13	18	13
Wasser	70	56	18	62,81	16	7	9

Tabelle 40: essentielle Aminosäuren verwendeter Rohstoffe in mg/g

	Mager- fleisch, Schwein	Backe, Schwein	Rücken- speck, Schwein	Lupine	Pfeffer	Majoran	Kümmel
Isoleucin	9,38	7,66	2,16	7,13	4,36	5,08	9,11
Leucin	14,28	11,66	3,29	12,12	8,39	7,62	13,46
Lysin	17,34	14,17	3,99	8,54	4,69	6,35	7,33
Methiodin	5,1	4,16	1,18	1,13	1,31	1,52	4,16
Cystein	2,45	2	0,56	1,97	1,31	1,27	3,76
Phenylalanin	8,16	6,66	1,88	6,34	3,49	3,81	8,91
Tyrosin	7,34	5,99	1,69	6,01	3,16	2,54	6,53
Threonin	8,98	7,33	2,07	5,88	4,03	4,45	7,13
Tryptophan	2,24	1,83	0,52	1,28	1,2	1,27	2,97
Valin	10,4	8,49	2,4	6,67	6,32	5,08	10,69
Arginin	12,04	9,82	2,77	17,14	12,1	5,08	19,78
Histidin	6,94	5,66	1,6	4,55	2,4	1,91	5,35

Tabelle 41: Nährwerte der hergestellten Bratwürste in g/100g

	0 % Lupine	10 % Lupine	20 % Lupine	30 % Lupine
Energie [kcal]	275,58	246,31	217,05	187,79
Fett	25,75	21,79	17,83	13,87
Eiweiß	11,75	12,12	12,49	12,86
Kohlenhydrate	0,29	0,78	1,27	1,76
Ballaststoffe	0,10	1,11	2,13	3,15
Wasser	59,58	61,51	63,44	65,37

Tabelle 42: essentielle Aminosäuren der hergestellten Bratwürste in mg/g

	0 % Lupine	10 % Lupine	20 % Lupine	30 % Lupine
Isoleucin	5,44	5,58	5,71	5,85
Leucin	8,29	8,62	8,95	9,29
Lysin	10,03	9,81	9,60	9,39
Methiodin	2,95	2,75	2,55	2,35
Cystein	1,42	1,47	1,52	1,56
Phenylalanin	4,73	4,86	5,00	5,13
Tyrosin	4,25	4,40	4,55	4,70
Threonin	5,20	5,24	5,28	5,31
Tryptophan	1,30	1,29	1,28	1,27
Valin	6,04	6,06	6,09	6,12
Arginin	7,01	7,98	8,95	9,93
Histidin	4,02	4,04	4,07	4,10

Tabelle 43: Messwerte Massezunahme Quellversuch

Quellzeit [h]	Massezunahme	
	Mittelwert [%]	Stabw.
0		
2	10,60	1,78
6	59,81	2,13
24	125,07	0,74
30	132,89	1,10
48	134,60	1,13
54	137,31	0,85
72	140,60	0,26
78	139,82	1,86
96	142,06	0,05

Tabelle 44: Signifikanzen der Trockenmasse beim Quellversuch

Zeit	n	Gruppe	TM [%]	Stabw.
96 h	3	A	35,93	0,660
72 h	3	AB	37,12	0,290
54 h	3	AB	37,19	1,171
78 h	3	AB	37,19	0,633
48 h	3	BC	38,46	0,421
24 h	3	CD	39,97	1,427
30 h	3	D	40,92	0,759
6 h	3	E	66,63	0,251
2 h	3	F	88,47	0,445
0 h	3	G	92,88	0,587

Tabelle 45: Levene-Test auf Varianzhomogenität analytischer Messwerte

	Levene-Statistik	df1	df2	Sig.
Trockenmasse	3,06	4	10	0,069
a _w -Wert	2,28	4	10	0,132
pH-Wert	0,87	4	10	0,513
Garverlust Brühen	0,14	4	10	0,965
Garverlust Braten	0,59	4	20	0,675
Helligkeit	3,38	4	20	0,029
Rot-Grün-Achse	3,74	4	20	0,020
Blau-Gelb-Achse	4,05	4	20	0,014
Textur mit Darm	1,00	4	40	0,418
Textur ohne Darm	2,38	4	40	0,068

Tabelle 46: Anova zur Prüfung der Gleichheit der Mittelwerte analytischer Messwerte

	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Trockenmasse	50,91	145,09	0,000
a _w -Wert	0,00	3,91	0,037
pH-Wert	0,01	32,20	0,000
Garverlust Brühen	0,75	2,24	0,138
Garverlust Braten	7,36	12,83	0,000
Textur mit Darm	941,92	1,56	0,205
Textur ohne Darm	6,72	7,92	0,000

Tabelle 47: Welch-Anova zur Prüfung der Mittelwerte der Farbmesswerte

	df1	df2	Sig.
Helligkeit	4	9,60	0,003
Rot-Grün-Achse	4	9,72	0,000
Blau-Gelb-Achse	4	9,49	0,000

Tabelle 48: Anova-Analyse Effektgröße (η^2) und Effektstärke (η ; f)

	η^2	η	f
Trockenmasse	0,983	0,991	7,618
a_w-Wert	0,610	0,781	1,250
pH-Wert	0,928	0,963	3,589
Garverlust Brühen	0,472	0,687	0,946
Garverlust Braten	0,720	0,848	1,602
Helligkeit	0,617	0,786	1,270
Rot-Grün-Achse	0,696	0,834	1,512
Blau-Gelb-Achse	0,894	0,945	2,901
Textur mit Darm	0,135	0,367	0,394
Textur ohne Darm	0,442	0,665	0,890

Tabelle 49: Levene-Test auf Varianzhomogenität sensorischer Messwerte

	Levene- Statistik	df1	df2	Sig.
Beliebtheit	2,59	4	95	0,042
Saftigkeit	5,39	4	95	0,001
Biss	1,65	4	95	0,167
Fleischaroma	3,44	4	95	0,011

Tabelle 50: Welch-Anova zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte sensorischer Messwerte

	df1	df2	Signifikanz
Beliebtheit	4	46,95	0,000
Saftigkeit	4	47,21	0,007
Biss	4	47,39	0,012
Fleischaroma	4	47,34	0,010

Tabelle 51: Penalty-Analyse Grunddaten

Variable	Niveau	Häufigkeiten	%	Mittelwert (Hedonik)	p-Wert	Signi- fikanzt	Penal- itäten
	Zu wenig	46	46,00%	5,739	<0,0001	Ja	
Biss	JAR	50	50,00%	7,260			1,400
	Zu viel	4	4,00%	7,250			
	Zu wenig	29	29,00%	5,793	0,001	Ja	
Saftigkeit	JAR	67	67,00%	6,940			1,152
	Zu viel	4	4,00%	5,750			
	Zu wenig	41	41,00%	5,805	<0,0001	Ja	
Fleischaroma	JAR	55	55,00%	7,182			1,382
	Zu viel	4	4,00%	5,750			

Tabelle 52: Rezeptur Bratwurst mit 20 % Lupine und gleicher TM durch geringere Eismenge

	Anteil [%]	Energie [kcal]	Fett [g]	Eiweiß [g]	Kohlenhydrate [g]	Ballaststoffe [g]	Wasser [g]
Magerfleisch	41,46	161,00	9,00	20,00	0,00	0,00	70,00
Backe	5,53	299,00	26,00	17,00	0,00	0,00	56,00
Rückenspeck	17,84	697,00	77,00	5,00	0,00	0,00	18,00
Lupine	22,11	136,36	3,39	16,20	4,90	10,17	62,81
Eis	10,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Kutterhilfsmittel	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewürze	2,34	93,40	2,25	4,26	13,87	4,59	3,36
Gesamt	100,00	239,97	19,71	13,80	1,08	2,36	59,58

Tabelle 53: Rezeptur Bratwurst mit 20 % Lupine und gleicher TM durch höheren Fettgehalt

	Anteil [%]	Energie [kcal]	Fett [g]	Eiweiß [g]	Kohlenhydrate [g]	Ballaststoffe [g]	Wasser [g]
Magerfleisch	19,34	161,00	9,00	20,00	0,00	0,00	70,00
Backe	5,00	299,00	26,00	17,00	0,00	0,00	56,00
Rückenspeck	34,40	697,00	77,00	5,00	0,00	0,00	18,00
Hybrid Lupine	20,00	136,36	3,39	16,20	4,90	10,17	62,81
Eis	18,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Kutterhilfsmittel	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewürze	2,11	93,40	2,25	4,26	13,87	4,59	3,36
Gesamt	100,00	315,10	30,25	9,77	0,98	2,13	53,91

Beliebtheitsprüfung (Hedonische Prüfung)

Prüfgut:	Lupinenbratwurst
Datum:	

Prüfanleitung

Sie können die verschiedenen Versionen der Lupinenbratwurst mit einer Zahl zwischen 9 (gefällt außerordentlich) und 1 (missfällt außerordentlich) bewerten. Dies können Sie durch Ankreuzen neben der Zahl in der Tabelle kenntlich machen. Tragen Sie bitte zuvor die **Probennummer** über der Tabelle ein. Des Weiteren können Sie bewerten, ob die Intensität des Fleischaromas, die Saftigkeit und der Biss zu viel, genau richtig oder zu wenig ist. Bitte ebenfalls durch Ankreuzen in der Tabelle kenntlich machen. Optional können Sie eine Begründung Ihrer Einordnung mit in die Zeile schreiben. Beginnen Sie mit dem linken Becher und probieren sich nach rechts durch.

Probennummer: _____

Skalenniveau	9	8	7	6
Bewertung	gefällt außerordentlich	gefällt sehr	gefällt einigermaßen	gefällt geringfügig
5	4	3	2	1
weder gefällt noch missfällt	missfällt geringfügig	missfällt einigermaßen	missfällt sehr	missfällt außerordentlich

Qualität	zu wenig	genau richtig	zu viel
Biss			
Saftigkeit			
Fleischaroma			

Probennummer: _____

Skalenniveau	9	8	7	6
Bewertung	gefällt außerordentlich	gefällt sehr	gefällt einigermaßen	gefällt geringfügig
5	4	3	2	1
weder gefällt noch missfällt	missfällt geringfügig	missfällt einigermaßen	missfällt sehr	missfällt außerordentlich

Qualität	zu wenig	genau richtig	zu viel
Biss			
Saftigkeit			
Fleischaroma			

Probennummer: _____

Skalenniveau	9	8	7	6
Bewertung	gefällt außerordentlich	gefällt sehr	gefällt einigermaßen	gefällt geringfügig
5	4	3	2	1
weder gefällt noch missfällt	missfällt geringfügig	missfällt einigermaßen	missfällt sehr	missfällt außerordentlich

Qualität	zu wenig	genau richtig	zu viel
Biss			
Saftigkeit			
Fleischaroma			

Probennummer: _____

Skalenniveau	9	8	7	6
Bewertung	gefällt außerordentlich	gefällt sehr	gefällt einigermaßen	gefällt geringfügig
5	4	3	2	1
weder gefällt noch missfällt	missfällt geringfügig	missfällt einigermaßen	missfällt sehr	missfällt außerordentlich

Qualität	zu wenig	genau richtig	zu viel
Biss			
Saftigkeit			
Fleischaroma			

Probennummer: _____

Skalenniveau	9	8	7	6
Bewertung	gefällt außerordentlich	gefällt sehr	gefällt einigermaßen	gefällt geringfügig
5	4	3	2	1
weder gefällt noch missfällt	missfällt geringfügig	missfällt einigermaßen	missfällt sehr	missfällt außerordentlich

Qualität	zu wenig	genau richtig	zu viel
Biss			
Saftigkeit			
Fleischaroma			

Einfach beschreibende Prüfung

Name:		Prüfgut:	Lupinenbratwurst
Bitte die Probennummer eintragen und von links nach rechts verkosten		Datum:	

Proben-nummer	Merkmale	Eigenschaften
	Farbe/Form	
	Geruch	
	Geschmack	
	Textur	
	Farbe/Form	
	Geruch	
	Geschmack	
	Textur	

	Farbe/Form	
	Geruch	
	Geschmack	
	Textur	
	Farbe/Form	
	Geruch	
	Geschmack	
	Textur	
	Farbe/Form	
	Geruch	
	Geschmack	
	Textur	

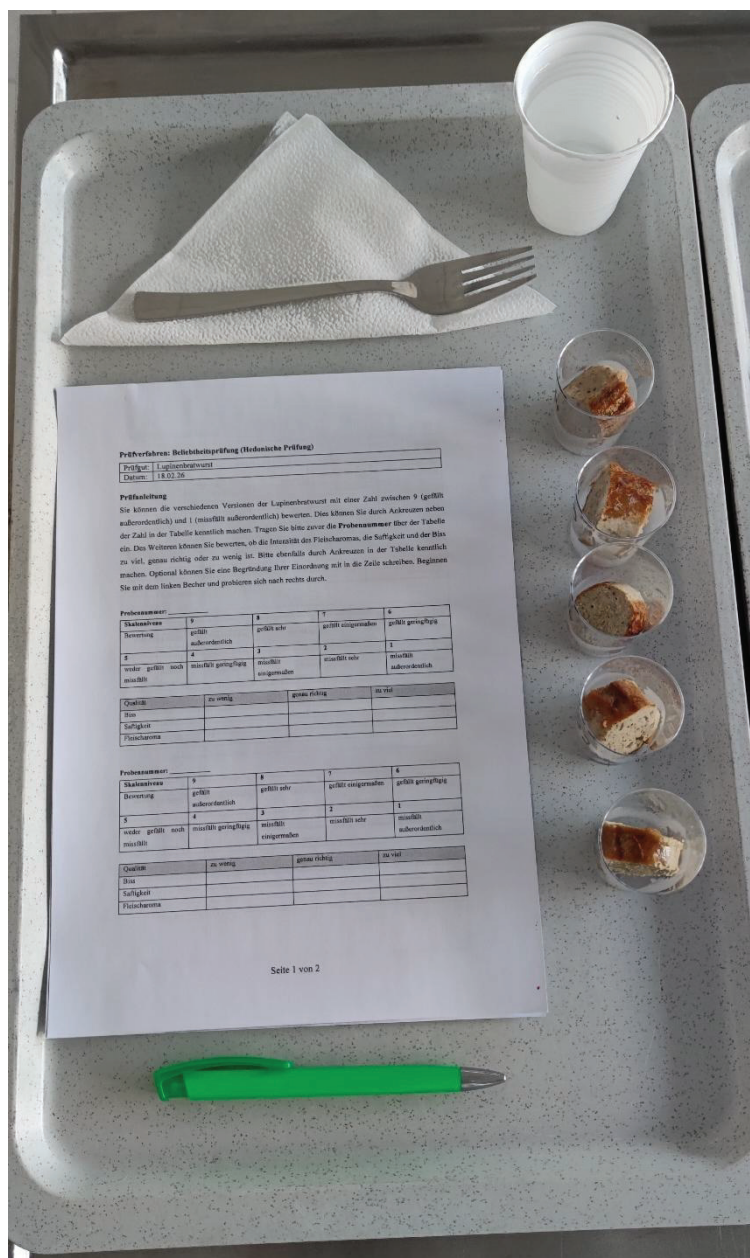


Abbildung 9: Darreichung der sensorisch untersuchten Proben

Quellenverzeichnis

- Bayudan, S., Deltomme, S., Rini, L., Faber, I., Frost, M. B., J. A. Perez-Cuetro, F., . . . Steur, H. D. (2025). I eat, therefore I am? Revealing differences and incongruences in dietary identities among omnivores and flexitarians in Europe. *Appetite Volume 207*.
- Bild.de. (2013). Mogelpizza: Tricks mit Formfleisch und Ersatzstoffen. *Bild.de*. Abgerufen am 12. März 2026 von <https://www.bild.de/ratgeber/verbrauchertipps/fertiggerichte/fertiggerichte-pizza-billig-zutaten-so-wird-getrickst-formfleisch-analogkaese-mogelpackungen-erkennen-29576070.bild.html>
- Bleitgren, R., Gross, R., & Gross, U. (1979). Lupins, a contribution to food supplies in the Andes - traditional debittering of lupins in water. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft Volume 18*, 104-111.
- Blüchel, E., & Honikel, K.-O. (2006). *Handbuch der chemischen und physikalischen Fleisch- und Fleischwarenanalyse*. Kulmbach: Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel.
- BMLEH. (2025). *Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse*. Abgerufen am 20. März 2026 von https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeFleisch.pdf?__blob=publicationFile&v=19
- BMLEH. (2025). *Mehr Auswahl am gemeinsamen Tisch: Alternativprodukte zu tierischen Lebensmitteln als Beitrag zu einer nachhaltigen Ernährung. Gutachten*. Berlin: BMLEH. Abgerufen am 23. März 2026 von https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/alternativprodukte-tierische-lebensmittel.html
- Branscheid, W., Honikel, K. O., Lengerken, G. v., & Troeger, K. (2007). *Qualität von Fleisch und Fleischwaren Band 2*. Frankfurt am Main: Dt. Fachverlag.
- Brauer, H. (2019). *Brühwursttechnologie - ein technologischer Leitfaden*. Frankfurt am Main: dfv Mediengruppe Fachbuch.
- Broucke, K. P., Duquenne, B., Witte, B. d., Baune, M. C., & Lammers, V. (2022). Ability of (extruded) pea protein products to partially replace pork meat in emulsified cooked sausages. *Innovative Food Science and Emerging Technologies Vol. 78*.
- BSA. (2026). *EU-Sortenkataloge*. Hannover: Bundessortenamt. Abgerufen am 10. März 2026 von <https://www.bundessortenamt.de/bsa/sorten/datenbanken/gemeinsame-sorten-kataloge-eu>
- Bühler, P., Schlaich, P., & Sinner, D. (2018). *Digitale Farbe: Farbgestaltung - Colormanagement - Farbverwaltung*. Berlin: Springer Vieweg.
- BVL. (2019). *Jahresbericht 2018 der Bundesrepublik Deutschland zum mehrjährigen nationalen Kontrollplan nach VO (EG) Nr. 882/2004*. Braunschweig: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Abgerufen am 23. März 2026 von https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/06_mnkp_dokumente/mnkp_Jahresbericht_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3

- BZfE. (2025). *Bundeszentrum für Ernährung*. Abgerufen am 23. März 2026 von <https://www.bzfe.de/presse/pressemitteilungen-archiv/alternativprodukte-zu-tierischen-lebensmitteln>
- BZL. (2025). *Marktrecherche Hülsenfrüchte*. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Abgerufen am 23. 3 2026 von <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/0611040-2024.pdf>
- CVB. (2016). *CVB Feed Table*. Zoetermeer: Federatie Nederlandse Diervoederketen (FND). Abgerufen am 16. Februar 2026 von https://images.engormix.com/externalFiles/6_cvb-feed-table-2016-version-1.pdf
- DGE. (2026). *DGE-Ernährungskreis*. Abgerufen am 23. März 2026 von <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/gut-essen-und-trinken/dge-ernaehrungskreis/>
- DIN-10964. (2014). *Sensorische Prüfverfahren - Einfach beschreibende Prüfung*. Berlin: DIN Media GmbH.
- DIN-10974. (2008). *Sensorische Analyse - Verbrauchertest*. Berlin: DIN Media GmbH.
- DIN-EN-ISO-10628-1. (2015). *Schemata für die chemische und petrochemische Industrie*. Berlin: DIN Media GmbH.
- DIN-EN-ISO-8589. (2014). *Sensorische Analyse - Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen*. Berlin: DIN Media GmbH.
- DIN-EN-SO-11136. (2020). *Sensorische Analyse - Methodologie - Allgemeiner Leitfaden für die Durchführung hedonischer Prüfungen (Verbrauchertests) in einem kontrollierten Umfeld*. Berlin: DIN Media GmbH.
- DSV. (kein Datum). *Deutsche Saatveredelung Anbauhinweise für weiße Lupine*. Abgerufen am 24. März 2026 von <https://www.dsv-saaten.de/produkte/organic/lupine/weisse-lupine/anbauhinweise>
- FAO. (2011). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition- Report of an FAO Expert Consultation*. Auckland: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Figura, L. O. (2021). *Lebensmittelphysik: physikalische Kenngrößen - Messung und Anwendung*. Berlin: Springer Spektrum.
- Flidner, W. (1995). *Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik*. Hamburg: Behr.
- Franke, W. (1997). *Nutzpflanzenkunde: nutzbare Gewächse der Breiten, Subtropen und Tropen; 89 Tabellen*. Stuttgart: Thieme.
- GDCh. (2025). *Gesellschaft deutscher Chemiker*. Abgerufen am 20. März 2026 von https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Lebensmittelchemiker/Arbeitsgruppen/fleisch/2025_Beurteilungskriterien_AG_Fleischwaren_Beurteilungskriterien.pdf
- Gehling, J., Kudick, K.-D., & Latz, N. (2009). *Fleischerei heute: Fachmathematik in Lernfeldern*. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik.
- GFL. (2016). *Gesellschaft zur Förderung der Lupine e.V.* Abgerufen am 24. März 2026 von <https://lupinenverein.de/wertschoepfung/lebensmittel/verarbeitung-zu-lebensmittel/>

- Grasso, S., & Goksen, G. (2023). The best of both worlds? Challenges and opportunities in the development of hybrid meat products the last 3 year. *Food Science and Technology Volume 173*.
- Hessische/Niedersächsische-Allgemeine. (2009). Täuschung von Verbrauchern: Falscher Schinken sorgt für Ärger. *Hessische/Niedersächsische-Allgemeine*. Abgerufen am 24. März 2026 von <https://www.hna.de/welt/taeuschung-verbrauchern-falscher-schinken-sorgt-aerger-zr-382190.html>
- Hofmann, K., & Arneht, W. (1981). Beiträge zur Chemie und Physik des Fleisches. *Kulmbacher Fortbildungstage 8* (S. 149-168). Kulmbach: Bundesanstalt für Fleischforschung.
- Hofmann, K., & Potthast, K. (1986). Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität. *Kulmbacher Fortbildungstage 1986* (S. 89-110). Kulmbach: Bundesanstalt für Fleischforschung.
- Keim, H., & Franke, R. (2007). *Fachwissen Fleischtechnologie*. Frankfurt am Main: Dt. Fachverlag.
- Landwirtschaftliches-Wochenblatt. (2009). Vorsicht vor Imitaten. *Landwirtschaftliches Wochenblatt*. Abgerufen am 12. März 2026 von <https://www.lw-heute.de/index.php?redid=17926>
- Latz, N. (2008). *Fleischerei heute: Grund- und Fachstufe in Lernfeldern*. Hamburg: Büchner, Handwerk und Technik.
- Matissek, R., & Fischer, M. (2021). *Lebensmittelanalytik*. Berlin: Springer Spektrum.
- Nährwertrechner. (kein Datum). Abgerufen am 16. Februar 2026 von <https://www.naehrwertrechner.de/>
- Neville, M., Tarrega, A., Hewson, L., & Foster, T. (2017). Consumer-oriented development of hybrid beef burger and sausage analogues. *Food Science & Nutrition Volume 5*, 852-864.
- Olewnik-Mikolajewska, A., Guzek, D., Glabska, D., & Gutkowska, K. (2024). Hybrid Meat Sausages with Cereal Ingredients: A Systematic Review and Development Trial with the Assessment of Physicochemical and Sensory Attributes. *Foods Volume 13*.
- Rimbach, G. (2025). *Warenkunde für Einsteiger*. Berlin: Springer Spektrum.
- Rockström, J., Thilstedt, J. S., Willett, W. C., Gordon, L. J., Herrero, M., Hicks, C. C., . . . DeClerck, F. (2025). The EAT-Lancet Commission on healthy, sustainable, and just food systems. (Elsevier, Hrsg.) *The Lancet Volume 406*, 1625-1700.
- Rothman, L., & Parker, M. J. (2009). Just-about-right (JAR) scales, usage, benefits, and risks. *ASTM international manual series MNL 63*.
- Schmidt, H., & Langank, L. (2020). *Lupinen-Anbau in der Praxis: ackerbauliche Ergebnisse zur blauen Süßlupine; ökologisch und konventionell*. Berlin: Verlag Dr. Köster.
- Schuster, W. H. (1998). *Leguminosen zur Kornnutzung*. Gießen: Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus-Liebig-Universität.
- Sielaff, H. (1996). *Fleischtechnologie*. Hamburg: Behr.

- Sinell, H. J. (2004). *Einführung in die Lebensmittelhygiene: 33 Tabellen*. Stuttgart: Parey.
- Soloman, W. K. (2007). Hydration kinetics of lupin (*Lupinus albus*) seeds. *Journal of Food Process Engineering Volume 30*, 119-130.
- Spicher, M. T., Dressel, K. M., Schweiggert-Weisz, U., Gola, S., & Eisner, P. (2025). Plant protein preferences in meat and dairy alternatives: An exploratory study of German consumers. *Future Foods Volume 11*.
- Stadtwerke, N. (2024). *Analysewerte Trinkwasser*. Neubrandenburg: Neubrandenburger Stadtwerke GmbH. Abgerufen am 20. März 2026 von https://www.neu-sw.de/downloads/privatkuenden/trinkwasser/analysewerte_trinkwasser.pdf
- Strassner, A.-M., & Wirth, W. (2024). Shades and shifts in flexitarian and meat-oriented consumer profiles in a German panel study. *Appetite Volume 197*.
- UFOP. (2026). *Die Vier von hier*. Abgerufen am 24. März 2026 von <https://www.dieviervonhier.eu/>
- Wasner, J., Feitsmayr, H., Rudlstorfer, S., & Gerstl, M. (2020). *Soja und andere Proteinpflanzen: Erfolgreich zur Eiweißstrategie*. München: avBuch.
- Wirth, F., Leistner, L., & Rödel, W. (1990). *Richtwerte der Fleischtechnologie*. Frankfurt am Main: Dt. Fachverlag.
- Woltersdorf, W., Klettner, P. G., & Wirth, F. (1984). Technologie der Brühwurst. *Kulmbacher Fortbildungstage* (S. 60-79; 103-122). Kulmbach: Institut für Technologie.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufzählung der verwendeten Schweinefleischklassen (BMLEH, 2025) (Gehling, Kudick, & Latz, 2009)	13
Tabelle 2: PDCAAS relevanter Leguminose	19
Tabelle 3: PDCAAS gebrühter Bratwürste mit 20 % Substitution des Pflanzenstoffs	20
Tabelle 4: In Untersuchungen und Versuchen verwendete Geräte	21
Tabelle 5: verwendete Zutaten	24
Tabelle 6: Rezeptur Gewürzmischung für eine Rezeptur	24
Tabelle 7: Rezeptur für Versuch 1: gebrühte Bratwurst	25
Tabelle 8: Rezeptur für Versuch 2: gebrühte Bratwurst mit 10 % Lupine	25
Tabelle 9: Rezeptur für Versuch 3 und 4: gebrühte Bratwurst mit 20 % Lupine	25
Tabelle 10: Rezeptur für Versuch 5: gebrühte Bratwurst mit 30 % Lupine	25
Tabelle 11: pH-Wert	29
Tabelle 12: a_w -Wert	30
Tabelle 13: Massereduktion beim Braten [%]	30
Tabelle 14: Trockenmasse [%]	31
Tabelle 15: Farbmessung Helligkeit	31
Tabelle 16: Farbmessung Rot-Grün-Achse	31
Tabelle 17: Farbmessung Blau-Gelb-Achse	32
Tabelle 18: Bewertung farblicher Unterschied bei unterschiedlichen Lupinenanteilen zur Variante ohne Lupine (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018)	32
Tabelle 19: Texturmessung ohne Darm [N]	33
Tabelle 20: Gruppenprotokoll einfach beschreibende Prüfung	34
Tabelle 21: Beliebtheit der Bratwurstvarianten	35
Tabelle 22: Merkmal "Biss"	36
Tabelle 23: Merkmal "Saftigkeit"	37
Tabelle 24: Merkmal "Fleischaroma"	38
Tabelle 25: Nährwerte gebrühter Bratwürste pro 100g	39
Tabelle 26: BEFFE-, BEFFE im FE- und FE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit Lupinenanteilen	40
Tabelle 27: PDCAAS-Berechnung der Rohstoff- und Produktproteine der Lupinenbratwurst	40
Tabelle 28: Nährwertberechnung gegarter Lupine	47
Tabelle 29: Nährwerte produktrelevanter Pflanzenstoffe reif und gegart [g/100 g] (Nährwertrechner, kein Datum)	47
Tabelle 30: Referenzmuster Aminosäurebedarf für verschiedene Altersgruppen in Jahren (FAO, 2011)	47
Tabelle 31: Im Protein enthaltene essentielle Aminosäuren [mg/g] (Nährwertrechner, kein Datum)	47
Tabelle 32: AAS [%] der essentiellen Aminosäuren	48
Tabelle 33: AAS [%] der essentiellen Aminosäuren von Hybridprodukten mit 20 % Pflanzenanteil	48
Tabelle 34: Verdaulichkeit der Proteine von Leguminosen bei heranwachsenden Schweinen (CVB, 2016)	48
Tabelle 35: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst	48
Tabelle 36: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 10 % Lupine	49
Tabelle 37: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 20 % Lupine	49
Tabelle 38: Berechnung BEFFE-Gehalt gebrühte Bratwurst mit 30 % Lupine	49
Tabelle 39: Nährwerte verwendeter Rohstoffe in g/100g	50
Tabelle 40: essentielle Aminosäuren verwendeter Rohstoffe in mg/g	50
Tabelle 41: Nährwerte der hergestellten Bratwürste in g/100g	50

Tabelle 42: essentielle Aminosäuren der hergestellten Bratwürste in mg/g	51
Tabelle 43: Messwerte Massezunahme Quellversuch	51
Tabelle 44: Signifikanzen der Trockenmasse beim Quellversuch	51
Tabelle 45: Levene-Test auf Varianzhomogenität analytischer Messwerte	52
Tabelle 46: Anova zur Prüfung der Gleichheit der Mittelwerte analytischer Messwerte	52
Tabelle 47: Welch-Anova zur Prüfung der Mittelwerte der Farbmesswerte.....	52
Tabelle 48: Anova-Analyse Effektgröße (η^2) und Effektstärke (η ; f)	53
Tabelle 49: Levene-Test auf Varianzhomogenität sensorischer Messwerte	53
Tabelle 50: Welch-Anova zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte sensorischer Messwerte	53
Tabelle 51: Penalty-Analyse Grunddaten	53
Tabelle 52: Rezeptur Bratwurst mit 20 % Lupine und gleicher TM durch geringere Eismenge ..	54
Tabelle 53: Rezeptur Bratwurst mit 20 % Lupine und gleicher TM durch höheren Fettgehalt ...	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *L-, *a-, *b-Farbrausystem (Bühler, Schlaich, & Sinner, 2018)	15
Abbildung 2: Aminosäureprofil von regionalen Leguminosen und Schweinefleisch	19
Abbildung 3: Fließschema zum Herstellungsverfahren einer gebrühten Lupinen-Bratwurst.....	26
Abbildung 4: Trockenmasse und Massezunahme von Lupinen in Abhängigkeit der Quellzeit in Wasser	29
Abbildung 5: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Biss)	37
Abbildung 6: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Saftigkeit)	37
Abbildung 7: Vergleich der JAR-Ergebnisse der Gruppen miteinander (Fleischaroma)	38
Abbildung 8: Penalty-Analyse der befragten Merkmale nach der JAR-Skala	39
Abbildung 9: Darreichung der sensorisch untersuchten Proben	59

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebenen elektronischen Fassungen mit der eingereichten Arbeit übereinstimmen.

Neubrandenburg, 14.04.2026

Ort, Datum

Unterschrift