

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg**

*Projektgebundene Versuchsdurchführung: Photometrische Bestimmung des Hydroxyprolinegehaltes, Ermittlung des Rohproteingehaltes nach Kjeldahl und rechnerische Herleitung des Bindegewebeisweiß- und BEFFE-Gehaltes bei Sattelschweinfleisch*

**Bachelorarbeit im Studiengang Ökotrophologie**

vorgelegt von

**Miriam Knautz**



Wedel  
am 22.08.2024

1. Gutachter: Prof. Dr. med. vet. Katharina Riehn (HAW Hamburg)
2. Gutachter: Prof. Dr. Stefan Lunkenbein (HAW Hamburg)

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg**  
Fakultät Life Sciences  
Department Ökotrophologie  
Ulmenliet 20  
21033 Hamburg

# Inhaltsverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Abbildungsverzeichnis.....  | IV   |
| Tabellenverzeichnis .....   | V    |
| Formelverzeichnis.....  | VII  |
| Abkürzungsverzeichnis.....  | VIII |
| Glossar .....   | X    |
| Zusammenfassung.....  | 1    |
| Abstract .....  | 1    |
| 1 Thematische Einführung.....   | 2    |
| 2 Allgemeine Zusammensetzung von Fleisch .....  | 2    |
| 2.1 Wasser .....  | 3    |
| 2.2 Fett.....   | 3    |
| 2.3 Eiweiß.....   | 4    |
| 2.4 Kohlenhydrate .....   | 5    |
| 3 Definition, Unterteilung und Kriterien von Fleischqualität mit Fokus auf Schweinefleisch..... | 5    |
| 3.1 Äußere Fleischqualität.....   | 6    |
| 3.2 Innere Fleischqualität .....  | 6    |
| 3.3 Einflussfaktoren auf die Fleischqualität .....  | 8    |
| 3.4 Detaillierte Beschreibung des Fleischqualitätsmerkmals BEFFE .....                          | 10   |
| 3.4.1 Erläuterungen von Bindegewebe, Bindegewebseiweiß, BEFFE und Hydroxyprolin                 | 10   |
| 3.4.2 Bestimmung des BEFFEs über das Hydroxyprolin und Gesamteiweiß .....                       | 12   |
| 4 Einordnung der Arbeit in das Projekt der OG PERSA .....                                       | 14   |
| 4.1 Schweinezucht und deren Entwicklung.....  | 14   |
| 4.2 Vorstellung der Rassegruppe der Sattelschweine.....   | 16   |
| 4.3 Beschreibung des Projektes der OG PERSA.....  | 18   |
| 5 Methodik .....  | 19   |
| 5.1 Literaturrecherche.....   | 19   |
| 5.2 Probenbeschreibung .....  | 20   |
| 5.2.1 Material .....  | 20   |
| 5.2.2 Probenvorbereitung .....  | 20   |
| 5.3 Photometrische Bestimmung von Hydroxyprolin .....   | 21   |
| 5.4 Bestimmung des Rohproteingehaltes nach Kjeldahl.....  | 23   |
| 5.5 Rechnerische Herleitung von Bindegewebseiweiß und BEFFE .....                               | 25   |
| 5.6 Statistische Auswertung der Ergebnisse.....   | 25   |
| 6 Ergebnisse .....  | 25   |
| 6.1 Hydroxyprolingehalt.....  | 26   |
| 6.2 Rohproteingehalt .....  | 28   |
| 6.3 Bindegewebseiweißgehalt .....   | 31   |
| 6.4 BEFFE-Gehalt .....  | 33   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 7     | Diskussion.....  | 36 |
| 7.1   | Methodendiskussion.....  | 36 |
| 7.1.1 | Probenvorbereitung und -lagerung.....  | 36 |
| 7.1.2 | Photometrische Bestimmung von Hydroxyprolin.....   | 38 |
| 7.1.3 | Kjeldahl-Methode zur Bestimmung des Rohproteingehaltes .....   | 39 |
| 7.2   | Ergebnisdiskussion.....  | 40 |
| 7.2.1 | Hydroxyprolin- und Bindegewebeiseiweißgehalt.....  | 40 |
| 7.2.2 | Rohproteingehalt.....  | 42 |
| 7.2.3 | BEFFE-Gehalt.....  | 43 |
| 7.3   | Leistung und Beitrag der Arbeit.....   | 44 |
| 8     | Schlussfolgerung.....  | 45 |
|       | Literaturverzeichnis .....   | 46 |
|       | Rechtsquellenverzeichnis.....  | 51 |
|       | Anhang.....  | 52 |
|       | A: Versuchsanleitung für das <i>Hydroxyproline Assay Kit</i> von Sigma-Aldrich.....  | 52 |
|       | B: Versuchsanleitung für die Kjeldahl-Methode des Lebensmittelchemielabors der HAW .....                                     | 56 |
|       | C: Kjeldahl-Destillation – Parameter.....  | 60 |
|       | D: Vollständige Suchstrategietabelle für den Theoretischen Hintergrund .....   | 61 |
|       | E: Vollständige Ergebnis- und Rechentabelle der Kjeldahl-Methode.....  | 62 |
|       | F: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen sowie Standardkurven der Hydroxyprolin- und Bindegewebeiseiweiß-Bestimmung..... | 65 |
|       | G: Eidesstattliche Erklärung .....   | 70 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Schematisch dargestellte Reaktion für die Bestimmung von Hydroxyprolin und Grenzformeln des mesomeriestabilisierten Kondensationsproduktes .....  | 13 |
| Abbildung 2: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung der photometrischen Bestimmung von Hydroxyprolin als dreigeteiltes Flussdiagramm nach dem Hydroxyproline Assay Kit von Sigma-Aldrich..... | 22 |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung der Kjeldahl-Methode als dreigeteiltes Flussdiagramm nach der internen Versuchsanleitung des Lebensmittelchemie-Labors der HAW .....      | 24 |
| Abbildung 4: Boxplot-Diagramm für den Hydroxyprolingehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts) .....                             | 27 |
| Abbildung 5: Boxplot-Diagramm für den Rohproteingehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts).....                                 | 30 |
| Abbildung 6: Boxplot-Diagramm für den Bindegewebeseiweißgehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts) .....                        | 32 |
| Abbildung 7: Boxplot-Diagramm für den BEFFE-Gehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts).....                                     | 35 |
| Abbildung 8: Darstellung der linearen Standardkurve im Koordinatensystem erstellt aus den Messergebnissen vom 04.04.2024 .....   | 66 |
| Abbildung 9: Darstellung der linearen Standardkurve im Koordinatensystem erstellt aus den Messergebnissen vom 05.05.2024 .....   | 69 |

# Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der fünf Qualitätsdimensionen von innerer Fleischqualität und deren Ausprägungen .....   | 7  |
| Tabelle 2: Tabellarische Auflistung der vier Kategorien von Einflussfaktoren auf die Fleischqualität und deren Ausprägungen .....  | 9  |
| Tabelle 3: Tabellarische Vorstellung der Rassegruppe des Sattelschweins, unterteilt in vier Populationen und beschrieben anhand verschiedener Charakteristiken .....   | 16 |
| Tabelle 4: Ausgewählte Suchanfragen der Suchstrategietabelle zur Akquirierung geeigneter (Fach-)Literatur für den theoretischen Hintergrund, sortiert nach Themenblöcken .....                               | 19 |
| Tabelle 5: Tabellarische Darstellung der experimentell bestimmten Hydroxyprolingehalte in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern .....                          | 26 |
| Tabelle 6: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Hydroxyprolingehalt.   | 27 |
| Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der experimentell bestimmten Rohproteingehalte in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern .....                             | 29 |
| Tabelle 8: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Rohproteingehalt .....   | 30 |
| Tabelle 9: Tabellarische Darstellung der aus den Hydroxyprolingehalten berechnete Bindegewebseiweißgehalt in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern .....       | 31 |
| Tabelle 10: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Bindegewebseiweißgehalt.....  | 32 |
| Tabelle 11: Tabellarische Darstellung der aus den Rohprotein- und Hydroxyprolingehalten berechnete BEFFE-Gehalt in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern ..... | 33 |
| Tabelle 12: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den BEFFE-Gehalt .....  | 35 |
| Tabelle 13: Auflistung der drei verwendeten Parameter bei der Destillation im Rahmen der Kjeldahl-Methode .....  | 60 |
| Tabelle 14: Vollständige Suchstrategietabelle zur Akquirierung geeigneter (Fach-)Literatur, sortiert nach Themenblöcken .....  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 15: Vollständige Ergebnis- und Rechentabelle für die Durchführung der Kjeldahl-Methode .....                                     | 62 |
| Tabelle 16: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen für die Hydroxyprolin- und Bindegewebseiweiß-Bestimmung vom 04.04.2024.....        | 65 |
| Tabelle 17: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 04.04.2024 (roh).....                        | 66 |
| Tabelle 18: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 04.04.2024 (mit Abzug des Blindwertes) ..... | 66 |
| Tabelle 19: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen für die Hydroxyprolin- und Bindegewebseiweiß-Bestimmung vom 05.05.2024.....        | 67 |
| Tabelle 20: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 05.05.2024 (roh).....                        | 69 |
| Tabelle 21: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 05.05.2024 (mit Abzug des Blindwertes) ..... | 69 |

## Formelverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Formel 1: Formel zur Berechnung des BEFFE-Gehaltes in %.....  | 12 |
| Formel 2: Formel zur Berechnung des Bindegewebeiweißgehaltes in %.....  | 12 |
| Formel 3: Formel zur Berechnung des Hydroxyprolingehaltes in % anhand gemessener, errechneter oder gegebener Parameter..... | 23 |
| Formel 4: Formel zur Berechnung des Rohstickstoffgehaltes in %.....   | 24 |
| Formel 5: Formel zur Berechnung des Rohproteingehaltes in %.....  | 24 |
| Formel 6: Formel zur Berechnung des Bindegewebeiweißgehaltes in %.....  | 25 |
| Formel 7: Vereinfachte Formel zur Berechnung des BEFFE-Gehaltes in %.....   | 25 |
| Formel 8: Formel zur Berechnung des 95 % - Konfidenzintervalls.....   | 28 |

## Abkürzungsverzeichnis

|          |  |
|----------|--|
| ASU      | Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren                     |
| ATP      | Adenosintriphosphat  |
| BEFFE    | Bindegewebeseiweißfreies Fleischeiweiß                           |
| BESH     | Bäuerliche Erzeugnismgemeinschaft Schwäbisch Hall                |
| BLE      | Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung                   |
| BVL      | Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit       |
| dest.    | destilliert/-em  |
| DFD      | Dark-Firm-Dry  |
| DIN      | Deutsches Institut für Normung                                   |
| EIP-Agri | Europäisches Innovationsprojekt in der Land- und Forstwirtschaft |
| EN       | Europäische Norm   |
| EU       | Europäische Union  |
| HAW      | Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg                 |
| IMF      | Intramuskuläres Fett   |
| IQA      | Interquartilsabstand   |
| ISO      | International Organization for Standardization                   |
| Konz.    | Konzentrat   |
| KI       | Konfidenzintervall   |
| KS       | Kotelett Sample  |
| L        | Lebensmittel   |
| LFGE     | Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse                     |
| LFGB     | Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch                         |
| MGS      | Meyers Genuss Sample   |
| MLUK     | Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz           |
| OA       | Obere Ausreißergrenze im Boxplot-Diagramm                        |
| OG       | Operationelle Gruppe   |
| ÖT       | Ökotrophologie   |

|          |   |
|----------|---|
| PERSA    | Perspektiven für eine wirtschaftliche Nutzung des Sattelschweins        |
| PRISMA   | Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses      |
| PSE      | Pale-Soft-Exudative   |
| PTFE     | Polytetrafluorethylen   |
| PVC      | Polyvinylchlorid (hier: Bestandteil der Ohrennummer der Sattelschweine) |
| SLfL     | Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft                             |
| Schl.    | Schlachtung   |
| SchwHKIV | Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung                         |
| UA       | Untere Ausreißergrenze im Boxplot-Diagramm                              |
| VO       | Verordnung  |

## Glossar

|                    |   |
|--------------------|---|
| Acyl-Glyceride     | Ester-Verbindungen aus Glycerin und einer, zwei oder drei Fettsäuren (Mono-, Di- oder Tri-acyl-glyceride)   |
| denaturieren       | Verlust der Sekundärstruktur von Proteinen z.B. durch Anwesenheit von Basen, Säuren oder höherer Temperaturen   |
| Eviszeration       | Entfernung bestimmter Organe oder Teile derer z.B. im Rahmen der post-mortalen Behandlung von Schweinen   |
| extrazellulär      | außerhalb von Zellen liegend  |
| Federzahl          | Gibt in Fleischwaren das Verhältnis von Wasser zu Fleisch-eiweiß an und kann zur Berechnung des Fremdwassergehaltes genutzt werden.   |
| Fibrillen          | Allgemein: faser-/fadenartige(r) Einheit/Bestanteil von Zellen oder Geweben (z.B. Myo- oder Cellulosefibrille)  |
| Fleisch            | Alle genießbaren Teile von Huf- und Hasentieren, Geflügel, freilebendem Wild, sowie Farm-, Klein- und Großwild bzw. die Skelettmuskulatur mit eingelagertem oder anhaftendem Binde- oder Fettgewebe. Dazu zählen auch eingelagerte Gefäße, Lymphknoten, Nerven oder Schweinespeicheldrüsen. |
| Fleischerzeugnisse | Gehören der Kategorie der Verarbeitungserzeugnisse an und sind aus der Ver-/Weiterverarbeitung von Fleisch hergestellt worden; haben Merkmale, die eine Querschnittsfläche von frischem Fleisch aufweisen würde, nicht mehr.  |
| Fleischreifung     | Erfolgt im Anschluss an die Phase des Rigor mortis und enthält die Lockerung der Totenstarre, die Aroma- und Saftigkeitsbildung und das Zartwerden des Fleisches.   |
| Fremdeiweiß        | In z.B. Fleisch enthaltenes Eiweiß (z.B. Milcheiweiß oder Sojaeiweiß), welches nicht dem Tier entstammt.  |
| Genotyp            | genetische Konstitution eines Organismus  |
| Glykogen           | Reservekohlenhydrat bzw. Speicherform von Glukose in Leber und Muskel   |
| Glykolyse          | erster Schritt des Abbaus von Glukose im Organismus oder bei der alkoholischen Gärung.  |
| Hydratwasser       | in kristallinen Festkörpern eingebaute Wasser-Moleküle; Synonym: Kristallwasser   |
| Hydroxylierung     | Reaktion, bei der mindestens eine Hydroxylgruppe (OH-Gruppe) an ein Molekül eingeführt wird.  |
| Hydrolyse          | Wassereinlagerung (Reaktion mit Wassermolekül), die die Spaltung einer chemischen Bindung bewirkt.  |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| intermuskulär                       | zwischen den Muskeln/-fasern (liegend)  |
| interzellulär                       | zwischen Zellen sich befindend  |
| intramuskulär                       | in den Muskeln/-fasern (liegend)  |
| Kotelettstrang                      | Beim Schwein; rückenseitige Stamm-Muskulatur inklusive Rippenknochen und Wirbelsäule.   |
| Membranlipide                       | Lipide, die Bestandteil einer Membran sind.   |
| mesomeriestabilisiert               | Moleküle, in denen es Elektronen gibt, die keinem Atom direkt zugeordnet werden können (delokalisiertes Elektronensystem), bewirkt die Verteilung der Elektronen, sodass entsprechende Moleküle häufig recht stabil sind. |
| <i>Musculus longissimus dorsi</i>   | langer Rückenstrecker-Muskel, vorherrschend in der Fleischpartie Kotelett   |
| myofibrillär                        | Myofibrillen bilden den Muskel. Es handelt sich um längs angeordnete Bündel/Funktionseinheiten, die innerhalb einer Muskelzelle zur Kontraktion befähigt sind.  |
| Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen | Entsprechend (ggfs. zugesetzte) Stickstoffverbindungen wie Eiweißhydrolysate, die nicht aus dem Tier stammen oder natürlich vorkommende Substanzen wie Harnstoff oder ATP.  |
| post-translational                  | Ereignis findet im Anschluss an Translation, welches den letzten Schritt bei der Expression eines Gens in ein Protein darstellt (Übersetzung der Basensequenz von der mRNA in Aminosäuresequenz), statt.                  |
| Rigor mortis                        | Totenstarre, die einige Stunden nach der Schlachtung eintritt und sich auf eine andauernde Muskelkontraktion zurückführen lässt.  |
| Sarkoplasma                         | Das Cytoplasma (Grundsubstanz einer Zelle, die von einer Plasmamembran begrenzt wird) einer Muskelfaser.  |
| Schweinefleisch                     | Sämtliche Fleischteile von Hausschweinen, die unterschiedlichen Geschlechts und Alters sein können und für den Verzehr durch den Menschen geeignet sind   |
| subkutan                            | unter der Haut liegend  |

Zur besseren Lesbarkeit werden in dieser Arbeit personenbezogene Bezeichnungen, die sich zugleich auf Frauen und Männer beziehen, generell nur in der im Deutschen üblichen männlichen Form angeführt.

## Zusammenfassung

Die Anforderungen an Schweinefleisch und dessen Züchtungsbranche haben sich im Laufe der Vergangenheit stetig verändert. Eine dieser Entwicklungen ist die Forderung des Verbrauchers nach muskelfleischreichem Fleisch, das gleichzeitig einen geringen Fettgehalt aufweist. Dieser Trend hat u.a. dazu geführt, dass bestimmte Schweinerassen, wie die Rassegruppe der Sattelschweine, vom Aussterben bedroht sind. Der Rassegruppe werden insgesamt eine Vielzahl an positiven Eigenschaften nachgesagt. In dieser Arbeit wurde im Rahmen des Projektes der OG PERSA daher zum Erhalt und zur Steigerung der Attraktivität der Rassegruppe die Eiweißzusammensetzung als Fleischqualitätsparameter (Hydroxyprolin, Rohprotein, Bindegewebeseiweiß und BEFFE) von Sattelschweinefleisch analysiert. Insgesamt wurden 27 homogenisierte Proben (Koteletts) von Rotbunten Husumer Schweinen und sechs im Einzelhandel gekaufte Fleischproben unterschiedlicher Haltungsstufen im Labor untersucht. Die photometrische Bestimmung des Hydroxyprolins erfolgte dabei mittels eines Test-Kits, die Bestimmung des Rohproteingehaltes nach der Kjeldahl-Methode. Aus den dort ermittelten Parametern wurden die weiteren Größen berechnet. Durchschnittlich ergaben sich folgende Gehalte: 0,01960 % Hydroxyprolin, 25,96 % Rohprotein, 0,157 % Bindegewebeseiweiß und 25,80 % BEFFE. Es konnten außerdem statistische Indizien identifiziert werden, die aufzeigen, dass Sattelschweinefleisch mit herkömmlichem Fleisch mindestens vergleichbar zu sein scheint. Zusammen mit anderen zu betrachtenden Aspekten konnte im Rahmen des Projektes so ein erster Beitrag zum Erhalt der Rassegruppe geleistet werden. Schwierigkeiten bei der Durchführung, die die Ergebnisse potenziell beeinflusst haben, gab es vor allem bei der Homogenisierung der Proben und der Bestimmung des Hydroxyprolins. Weitere Arbeiten könnten sich z.B. auf eine weitere Zusammensetzungsanalyse mittels anderer Methoden fokussieren.

## Abstract

In recent decades, the requirements for pork and the pig breeding industry have changed constantly. One of these developments was that consumers demand pork with a high lean meat and a low fat content. Among other things, this led to pig breeds threatened with extinction, such as the Saddleback pig breeding group. This breed group is said to have many positive characteristics. Therefore, in this present research as part of a project by the operational group PERSA the protein composition (hydroxyproline, crude protein, connective tissue protein and connective tissue free meat protein) of Saddleback pork was analyzed as a parameter for meat quality. A total of 27 samples of homogenized Saddleback pork cutlet (Husum Red Pied) and six purchased samples were examined. The photometric determination of hydroxyproline was carried out using a test kit. The crude protein was

determined according to the Kjeldahl method. The other two parameters were calculated using the previously determined ones. The average results were 0,01960 % of hydroxyproline, 25,96 % of crude protein, 0,157 % of connective tissue protein and 25,80 % of connective tissue free meat protein. There is evidence to suggest that Saddleback pork can at least compete with store-bought meat. In addition to other aspects, this research could thus contribute to the preservation of this old, domestic breed group. The sample homogenization and the determination of hydroxyproline caused difficulties which might have affected the results accordingly. Further work could, for example, focus on another compositional analysis using different methods.

## 1 Thematische Einführung

Für viele Menschen spielt Fleisch eine wesentliche Rolle in der Ernährung. Dies zeigt der allgemein hohe Fleischkonsum, welcher im Jahr 2022 in Deutschland rund 52 Kilogramm pro Kopf betrug (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung [BLE], 2023; Lobitz et al., 2015, S. 4–5). Am meisten nachgefragt ist fortwährend Schweinefleisch, von dem im Jahr 2022 ca. 28 Kilogramm pro Kopf verzehrt wurden (BLE, 2023; Rimbach et al., 2010, S. 67). Prägnant im Hinblick auf die andauernd hohe Nachfrage für diese Fleischart ist die Entwicklung der Schweinezuchtbranche, die sich ab ca. den 1960er Jahren anfang, u.a. darauf zu fokussieren, Schweinefleisch mit einem möglichst hohen Magerfleischanteil bei gleichzeitig möglichst niedrigem Fettgehalt zu produzieren. Die Hintergründe und Auswirkungen dieses Trends sind vielfältig. Es besteht u.a. aber das Risiko, dass alte Haustierschweinrassen samt ihrer positiven Eigenschaften aussterben und genetische Vielfalt zunehmend eingeschränkt wird (Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 83-84; Petig, 2020, S. 4; Scholz, 2002, S. 2). Als Beitrag zum Erhalt einer solchen alten und bedrohten Haustierschweinrasse, dem Sattelschwein, untersucht die vorliegende Arbeit die Eiweißzusammensetzung des Fleisches von Rotbunten Husumer Schweinen im Kontext Fleischqualität (BLE, 2021, S. 69-72). Dazu werden zunächst alle notwendigen Informationen zur Zusammensetzung von Fleisch und Fleischqualität sowie eine Einordnung in das Projekt bzw. den Kontext Sattelschwein bereitgestellt. Im Anschluss erfolgt eine Erläuterung der verwendeten Methoden sowie eine Vorstellung und kritische Betrachtung der Ergebnisse.

## 2 Allgemeine Zusammensetzung von Fleisch

Fleisch besteht im Wesentlichen aus Wasser, Stickstoffverbindungen, Bindegewebe, Muskulatur und Fett (Hohenester, 2006, S. 22; Kallweit et al., 1988, 65, 75-76; Rimbach et al., 2010, S. 66). Bei schierem Skelettmuskelfleisch, welches von sichtbarem Fett, Knochen und Sehnen getrennt worden ist, liegt eine Zusammensetzung von ca. 74 % Wasser, ca. 20 % Stickstoffverbindungen, ca. 4 % Fett und jeweils ca. 1 % Kohlenhydraten und Mikronährstoffen vor (Glatz, 2010, S. 568). Die Zusammensetzung schwankt in Abhängigkeit von Tierart, Rasse, genetischer Veranlagung, Geschlecht (ggfs. Kastration), Gewicht, (Schlacht-)Alter, Stoffwechsel, Hormonen, Wachstumsphase,

Reproduktionszyklus, Lebensbedingungen (z.B. Fütterung/Ernährung, Mastintensität, Haltung, Aktivität/Bewegungsmöglichkeiten) und dem betrachteten Fleisch-Teilstück (Glatz, 2010, S. 568; Hohenester, 2006, S. 22; Kallweit et al., 1988, S. 21–22; Rimbach et al., 2010, S. 82; Scholz, 2002, S. 18). Innerhalb eines Tierkörpers gibt es demnach muskelfleisch-, fett-, sehn- oder bindegewebsreichere bzw. -ärmere Partien (Glatz, 2010, S. 568; Rimbach et al., 2010, S. 82–83). Schweinefilet z.B. hat einen Eiweißgehalt von ca. 22 % und einen Fettgehalt von ca. 2 %, Schweinebauch hingegen einen Eiweißgehalt von ca. 10 % und einen Fettgehalt von ca. 50 % (Glatz, 2010, S. 568). Die Zusammensetzung ist u.a. dafür entscheidend, wie das Fleisch genutzt werden kann und welche Fleischqualität es aufweist (Glatz, 2010, S. 568; Rimbach et al., 2010, S. 82).

Fleisch und Fleischerzeugnisse enthalten auch eine relevante Menge an Mineralstoffen und Vitaminen (Rimbach et al., 2010, S. 87). Aufgrund des geringeren Zusammenhangs zur behandelten Zielstellung wird darauf in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen.

## 2.1 Wasser

Durchschnittlich besteht mageres Fleisch zu ca. Dreivierteln aus Wasser. Das Fleisch von jüngeren Tieren weist dabei meist einen höheren Anteil auf als das von älteren Tieren. Das Verhältnis zum Fettgehalt ist außerdem antagonistisch. Wasser ist beispielsweise Bestandteil von Proteinen, Kohlenhydraten oder Nucleinsäuren und dient als Reaktionspartner oder Transportmedium (Ebermann & Elmadfa, 2008, S. 16, 269-270; Glatz, 2010, S. 568; Hohenester, 2006, S. 22-23). Innerhalb der Muskulatur liegt das Wasser unterschiedlich gebunden vor. Der Großteil des Muskelwassers (80 – 90 %) ist z.B. zwischen myofibrillären Proteinen fixiert, während ungefähr weitere vier bis fünf Prozent an Eiweiße gebundenes Hydratwasser darstellen. Ein wichtiger, mit dem Wasser zusammenhängender Qualitätsparameter ist das sogenannte Wasserbindungsvermögen, welches u.a. Zartheit, Saftigkeit und Farbe des Fleisches beeinflusst (Hohenester, 2006, S. 22; Rimbach et al., 2010, S. 83).

## 2.2 Fett

Der Fettgehalt sowie die spezifische Zusammensetzung der Fettsäuren von Fleisch haben großen Einfluss auf die Qualität z.B. im Zusammenhang zum Geschmack (Glatz, 2010, S. 569; Rimbach et al., 2010, S. 85). Tierisches Fettgewebe ist ubiquitär im Tierkörper vorhanden und besteht aus mit Tri-, Di- oder Mono-acyl-glyceriden und Fettbegleitstoffen (z.B. Cholesterin, Lecithin oder Mikronährstoffe) aufgefüllten Bindegewebszellen sowie Wasser und etwas Muskelgewebe. Fettgewebe wird daher auch als modifiziertes, lockeres Bindegewebe, das als Energiespeicher und Wärmeregulator dient, bezeichnet (Glatz, 2010, S. 569; Hohenester, 2006, S. 26; Kallweit et al., 1988, S. 15). Das Fettsäuremuster-Verhältnis variiert und liegt im Durchschnitt bei ca. 1:1 zwischen gesättigten und ungesättigten Fettsäuren (Glatz, 2010, S. 569).

Klassifiziert werden kann Fettgewebe in drei bzw. vier Unterarten: subkutanes, intermuskuläres, intramuskuläres und Innereien-Fett. Es liegt somit entweder unter der Haut, zwischen oder innerhalb der Muskelfasern bzw. den Innereien (Kallweit et al., 1988, S. 16; Rimbach et al., 2010, S. 85). Von großer Bedeutung im Kontext Fleischqualität ist vor allem das intramuskuläre Fett (IMF), welches bei Betrachtung des Fleisches nicht eindeutig sichtbar ist und auch in optisch magerem Fleisch vorkommt. Konkret handelt es sich um eingelagerte Membranlipide und Fetttropfen, die aus dem Sarkoplasma stammen (Rimbach et al., 2010, S. 85). Je nach Verhältnis und Gehalt ergibt sich in Kombination aus Muskelfleisch und muskulärem Fett eine Marmorierung (Fleischmaserung) (Kallweit et al., 1988, S. 16; Rimbach et al., 2010, S. 85).

### 2.3 Eiweiß

Der Eiweißgehalt (ca. 20 %) und dessen Zusammensetzung können stark variieren und sind multifaktoriell beeinflusst z.B. von Rasse oder Fütterung (Hohenester, 2006, S. 23; Rimbach et al., 2010, S. 83). Fleisch ist allgemein bekannt als ernährungsphysiologisch relevante, quantitativ und qualitativ hochwertige Eiweißquelle. Letzteres ist u.a. auf die Menge und das Verhältnis essenzieller Aminosäuren zueinander zurückzuführen. Ein Maß hierfür ist die sogenannte biologische Wertigkeit, die bei Schweinefleisch 86 beträgt (Rimbach et al., 2010, S. 83). Trotz allgemein hoher Wertigkeit gibt es innerhalb des Fleischeiweißes qualitative Unterschiede. Differenziert werden kann beispielsweise zwischen hochwertigem Skelettmuskeleiweiß und (ernährungsphysiologisch) geringerwertigem Bindegewebeiseiweiß (Glatz, 2010, S. 568; Lobitz et al., 2015, S. 48). Ersteres besteht aus myofibrillären (ca. 11 % an Gesamtzusammensetzung) und Sarkoplasma-Protein-Fractionen (ca. 6 % an Gesamtzusammensetzung) (Rimbach et al., 2010, S. 83). Zu den myofibrillären Proteinen zählen z.B. die nicht-wasserlöslichen Vertreter Myosin und Actin, die im Rahmen der Muskelkontraktion eine große Rolle spielen. Zu den Proteinen des Sarkoplasmas gehören z.B. die wasserlöslichen Globuline und Albumine wie Myo- oder Hämoglobin (Glatz, 2010, S. 569; Rimbach et al., 2010, S. 83). In Bezug auf den Fleischqualitätsparameter Farbe ist hier bedeutsam, dass der Muskelfarbstoff Myoglobin für die rote Farbe von Fleisch verantwortlich ist. Der Blutfarbstoff Hämoglobin ist hierbei aufgrund des Ausblutens nach dem Schlachten von geringer Bedeutung. Neben den bereits genannten Proteinen können im Fleischsaft außerdem noch weitere Verbindungen wie Peptide, freie Aminosäuren oder andere Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen (z.B. Kreatin oder Harnstoff) vorkommen (Glatz, 2010, S. 569).

Den restlichen Fleischeiweiß-Anteil (ca. 3 %) bilden die Organellen- und Bindegewebsproteine. Zu den Organellenproteinen zählen die Mitochondrienproteine, zu den Bindegewebeiseiweißen v.a. Kollagen und Elastin (Rimbach et al., 2010, S. 83). Deren Funktion besteht primär in der Stabilisierung bzw. Gerüstbildung des Gewebes. Sie kommen vorrangig in Schwarten, Sehnen, Bändern oder der

Haut vor (Glatz, 2010, S. 569; Hohenester, 2006, S. 25; Horn, 2019, S. 507). Im Zusammenhang zur Fleischqualität steht das Bindegewebeisweiß v.a. mit dem Bindegewebeisweißfreiem Fleischeisweiß (BEFFE), welches in einem gesonderten Kapitel detaillierter betrachtet wird (Rimbach et al., 2010, S. 84).

## 2.4 Kohlenhydrate

Der Kohlenhydratanteil in Fleisch ist im Verhältnis zu anderen Inhaltsstoffen mengenmäßig gering. Aufgrund des Zusammenhangs zu DFD- oder PSE-Fleisch sind Kohlenhydrate aber dennoch von Bedeutung für die Fleischqualität (Glatz, 2010, S. 569-570). In Form von Glykogen stellen Kohlenhydrate neben Fett eine Energiereserve dar. Glykogen beträgt in Fleisch ca. 1 % und in der Leber ca. 5 % (Glatz, 2010, S. 569). Der Gehalt hängt z.B. vom Zustand des Tieres oder dem Schlachtagter ab. In geringeren Mengen kommen außerdem die Kohlenhydrate Glukose, Fruktose und Ribose sowie Zuckerphosphate im Muskel vor (Rimbach et al., 2010, S. 83). Wichtig für den Zusammenhang zu den bereits genannten Fleischqualitätsfehlern ist der Abbau des Glykogens. Durch dessen anaerobe Glykolyse entsteht Milchsäure, welche in gewissem Maße notwendig für eine akzeptable Entwicklung des Fleischzustandes, z.B. in Bezug auf den pH-Wert, ist. Durch u.a. Stress, Ermüdung oder zu hohe Körpertemperaturen im Rahmen des Schlachtprozesses kann es zu einer negativen Beeinflussung kommen. Mögliche Folgen sind DFD- oder PSE-Fleisch (Glatz, 2010, S. 570; Rimbach et al., 2010, S. 83; Stiebing et al., 2011, S. 3).

## 3 Definition, Unterteilung und Kriterien von Fleischqualität mit Fokus auf Schweinefleisch

Die DIN-Norm „Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe“ definiert Qualität allgemein als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objektes Anforderungen erfüllt“ (DIN EN ISO 9000:2015, 2015, S. 39). Folglich würde dies bedeuten, dass Fleischqualität, das Maß der Erfüllung von bestimmten, zunächst nicht näher spezifizierten Fleischmerkmalen ist. Je nach Quelle werden der Fleischqualität unterschiedliche Aspekte zugeordnet und verschiedene Bezeichnungen verwendet. Im Folgenden werden unter Fleischqualität alle Aspekte der sogenannten Schlachtkörperqualität verstanden. Diese beinhaltet die Zusammensetzung des Schlachtkörpers sowie spezifische (z.B. ernährungsphysiologische) Parameter von Fleisch und Fett (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft [SLfL], 2006, S. 2). Zur weiteren, tiefergehenden Unterteilung wird daher von äußerer und innerer Fleischqualität gesprochen (Littmann et al., 2006, S. 137).

An dieser Stelle sei außerdem erwähnt, dass das Qualitätsverständnis des Verbrauchers bzw. dessen Anforderungen an Fleisch teilweise konträr zur objektiven Beurteilung sind. Dies ist dadurch begründet, dass der Verbraucher von emotionalen Aspekten wie dem persönlichen, sozialen

Hintergrund, Traditionen, Ethik, Religion oder Politik geprägt ist (Kallweit, 1994; Littmann et al., 2006, S. 150; Müller, 2011, S. 5). Wichtig für ihn sind beispielsweise ein hoher Magerfleischanteil bei gleichzeitig geringem Verfettungsgrad sowie ein einwandfreier Geschmack und eine charakteristische Farbe (Bussemas & Widmaier, 2011, S. 109; Ellis et al., 1999; SLfL, 2006, S. 3).

### 3.1 Äußere Fleischqualität

Die äußere Qualität von Fleisch behandelt die Ausprägung des Schlachtkörpers und wird daher auch als Schlachtkörperzusammensetzung bezeichnet (Littmann et al., 2006, S. 137; SLfL, 2006, S. 2). Sie steht, genetisch betrachtet, in antagonistischer Beziehung zu ihrem Äquivalent, der inneren Qualität. Eine Verschlechterung der einen Dimension bewirkt somit eine Verbesserung der anderen (Littmann et al., 2006, S. 137). Zu den äußeren Qualitätsmerkmalen zählen die fleischtragenden Partien, das Fleisch-Fett-Verhältnis und der Muskelfleischanteil (Littmann et al., 2006, S. 137; SLfL, 2006, S. 2). Letzteres stellt dabei das charakteristischste Kriterium zur Klassifizierung von Schweinefleisch dar (Littmann et al., 2006, S. 137). Dessen Einteilung erfolgt laut der Verordnung (EU) Nr. 1308/2013 und der nationalen Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung (SchwHKIV) je nach Ausprägung der Muskulatur in die Handelsklassen S, E, U, R, O und P (absteigend). Eine Einordnung in Klasse S erfolgt bei einem geschätzten Muskelfleischanteil des Schlachtkörpergewichts von 60 % oder mehr, eine Einstufung in Klasse P bei weniger als 40 % (Anhang IV Teil B Abschnitt II VO (EU) Nr. 1308/2013; § 1 SchwHKIV). Der Handelswert von Schweinefleisch soll aufgrund anderer Qualitätsparameter jedoch nicht ausschließlich durch den Muskelfleischanteil bestimmt werden (Anhang IV Teil B Abschnitt IV Nr. 2 VO (EU) Nr. 1308/2013). Im folgenden Kapitel werden daher nun weitere, der inneren Dimension zugeordnete Fleischmerkmale betrachtet.

### 3.2 Innere Fleischqualität

Für die innere Qualitätsdimension von Fleisch lässt sich folgende Fleischqualitäts-Definition nach Hoffmann verwenden. (Innere) Fleischqualität wird dabei definiert als „Summe aller sensorischen, ernährungsphysiologischen, hygienischtoxikologischen und verarbeitungstechnologischen Eigenschaften des Fleisches“ (Hoffmann, 1973, S. 485; SLfL, 2006, S. 3). Neben den hier aufgeführten Ebenen existiert in der Literatur zusätzlich noch die Marketing-Qualität, welche die anderen Kriterien indirekt beinhaltet, aber die Erfüllung der visuellen Erwartungen des Verbrauchers zum Zwecke der optimalen Vermarktung priorisiert (Littmann et al., 2006, S. 144). Zusammengefasst behandelt die innere Fleischqualität somit die Beschaffenheit des Fleisches. Diese ist von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig, auf welche aufgrund der Komplexität und Umfänglichkeit im folgenden Kapitel eingegangen wird (Littmann et al., 2006, S. 137; SLfL, 2006, S. 1, 3; Stiebing et al., 2011, S. 2). So zahlreich wie die Einflussfaktoren sind auch die Parameter der inneren Fleischqualität. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über verschiedene Kriterien, aufgeteilt in die Dimensionen:

Tabelle 1: Tabellarische Auflistung der fünf Qualitätsdimensionen von innerer Fleischqualität und deren Ausprägungen

| Innere Fleischqualität |                            |                                  |   |                                      |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Genuss-Qualität        | Nährstoff-Qualität         | Hygiene-Qualität                 | Verarbeitungs-Qualität                    | Marketing-Qualität                   |
| Geschmack              | Energiegehalt              | mikrobieller Status:             | Mikrobiologie                             | IMF                                  |
| Geruch                 | Kohlenhydratgehalt         | · Keimarten                      | Oxidationsstabilität                      | Marmorierung                         |
| Struktur               | Eiweißgehalt:              | · Pathogenität                   | pH-Wert(-Abfall)                          | Eignung für SB-Verpackung            |
| Zartheit               | · Muskelproteine           | · Gesamtkeimzahl                 | Konsistenz                                | Farbe, Farberhaltung                 |
| Marmorierung           | · Bindegewebsproteine      | chemischer Status:               | Lagerdauer/-art:                          | frei von Haltungsschäden             |
| Fasrigkeit             | → BEFFE                    | · Reifegrad                      | · Tierkühlstabilität                      | frei von Blutflecken                 |
| Saftigkeit             | Lipidfraktionen            | · Ausmaß analytischer Reaktionen | Conveniencegrad                           | Dimensionierung geschnittener Stücke |
| Konsistenz             | · Gehalt                   | Fremdstoffstatus (Rückstände):   | Zusammensetzung:                          |                                      |
| Farbe:                 | · Fettsäurezusammensetzung | · Tierarzneimittel               | · Muskelfleisch:                          |                                      |
| · Reflexionswert       | Wassergehalt               | · Umweltgifte                    | → Saffthaltevermögen                      |                                      |
| Mürbheit               | Federzahl                  | · Tierfutter                     | → Farbstabilität                          |                                      |
| Scherkraft             | Mikronährstoffe            | · Hormone                        | → elektrische Leitfähigkeit               |                                      |
| Form                   | · Mineralstoffgehalt       | · Schwermetalle                  | → Pökelfähigkeit                          |                                      |
| Aussehen               | · Vitamingehalt            | Haltbarkeitseinflüsse            | → Wasserbindungsvermögen/Tropfsaftverlust |                                      |
|                        |                            | Kontamination                    |   |                                      |
|                        |                            |                                  | · Fettgewebe:                             |                                      |
|                        |                            |                                  | → Farbe                                   |                                      |
|                        |                            |                                  | → Fettkonsistenz                          |                                      |
|                        |                            |                                  | → Fettgehalt                              |                                      |
|                        |                            |                                  | → Fettzahl                                |                                      |
|                        |                            |                                  | → Trocknungsverhalten                     |                                      |
|                        |                            |                                  | · Bindegewebe/ Sehnen                     |                                      |
|                        |                            |                                  | · Eiweißgehalt/-zustand                   |                                      |

nach Ellis et al., 1999; Littmann et al., 2006, 137, 143-144, 148; Müller, 2011, S. 4; Rimbach et al., 2010, S. 80; Stiebing et al., 2011, S. 1

Die Tabelle zeigt auf, wie vielfältig der Begriff der inneren Fleischqualität geprägt ist. Jede Qualitätsdimension enthält Unterpunkte, die die verschiedenen und teilweise messbaren Fleischqualitätsparameter darstellen. In der Tabelle ist zur besseren Einordnung die oberste Ebene eines Qualitätsmerkmals ohne Aufführungszeichen, die zweite durch einen Punkt und die unterste durch einen Pfeil dargestellt. Für die Qualitätsparameter liegen entsprechende Anforderungen und ggfs. Normwerte vor. Bei der Hygiene-Qualität wird z.B. auf Rückstände oder das Vorhandensein von Keimen geachtet, bei der Nährstoff-Qualität hingegen auf Eiweiß- oder Fettgehalt. Teilweise lassen sich die Parameter auch mehreren Dimensionen zuordnen, weshalb es deutliche Verknüpfungen zwischen den Qualitätsebenen gibt. Beispielsweise der Fettgehalt bzw. dessen Zusammensetzung ist entscheidend für den Nährwert, aber auch für die Verarbeitungs-Qualität und den Geschmack, der sich der Genuss-

Qualität zuordnen lässt. Aufgrund der Beeinflussungen des äußeren Erscheinungsbildes durch den Fettgehalt (IMF und Marmorierung) ist dieser Aspekt auch bei der Marketing-Qualität wiederzufinden (Littmann et al., 2006, S. 144-149; Müller, 2011, S. 4). Für einige der oben dargestellten Qualitätskriterien bestehen außerdem unterschiedliche Anforderungen, je nachdem, ob es sich um den rohen oder den verarbeiteten Zustand des Fleisches handelt. Dies ist der Fall bei der Genuss-Qualität, welche von großer Bedeutung für den Verbraucher ist. Dieser hat vor allem Anforderungen und Erwartungen an Farbe, Frische, Geruch, Saftigkeit, Geschmack, ggfs. Marmorierung und Zartheit des Fleisches (Ebermann & Elmadfa, 2008, S. 286–287; Littmann et al., 2006, S. 144; SLfL, 2006, S. 3; Warner et al., 2010).

Von Schweinefleisch z.B. erwartet der Verbraucher eine charakteristische rosa bis (hell-)rote Farbe, eine zarte Konsistenz und eine feinfaserige Struktur (Lobitz et al., 2015, S. 30; Rimbach et al., 2010, S. 70). Der Geruch ist im Normalfall neutral und der Geschmack sollte zart, aromatisch und saftig und nicht strohig, trocken oder zäh sein. Je nach Partie soll das Fleisch auch eine entsprechende Marmorierung aufweisen (Böckenhoff, 1988). Viele Verbraucher erwarten neben diesen Kriterien zusätzlich, dass Schweinefleisch einen hohen Magerfleischanteil bei gleichzeitig geringer Verfettung aufweist (Bussemas & Widmaier, 2011, S. 109; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 83; Littmann et al., 2006, S. 150). Es ist jedoch nicht allgemein bekannt, was für einen Einfluss der Fettanteil von Fleisch auf die Fleischqualität und explizit auf den Geschmack hat (Feldmann, 2002, S. 131; Glatz, 2010, S. 569; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 83; Rimbach et al., 2010, S. 85). Fett ist Geschmacksträger und Vorstufe von Aromastoffen, weshalb ein zu geringer Anteil dazu führt, dass das Fleisch fad schmeckt (Feldmann, 2002, S. 131; Littmann et al., 2006, S. 148). Der Fettgehalt spielt außerdem eine wesentliche Rolle bei der Ausprägung von Textur, Zartheit und Saftigkeit (Heylen, 1999, S. 4; Rimbach et al., 2010, S. 85). Daher wird der Fett- und insbesondere der IMF-Gehalt zu den inneren Fleischqualitätsmerkmalen und explizit zur Genuss-Qualität gezählt (Littmann et al., 2006, S. 148–149). Je nach Quelle gibt es in der Literatur Angaben, die einen minimalen Prozentanteil an IMF für eine optimale Geschmacks-Qualität vorgeben (ca. 2 – 3%) (Ellis et al., 1999; Littmann et al., 2006, S. 148). Im Kapitel über die Schweinezucht und deren Entwicklung wird auf die Entwicklung dieses Trends und entsprechende Risiken erneut eingegangen.

### 3.3 Einflussfaktoren auf die Fleischqualität

Wie bereits erwähnt, ist Fleischqualität als multifaktoriell beeinflusst aufzufassen. Einflussfaktoren können je nach Ausprägung gewünschte oder zu vermeidende Auswirkungen haben und lassen sich im Allgemeinen in vier Kategorien einteilen: Genetische, produktionstechnische, prämortale und post-mortale Einflüsse (SLfL, 2006, S. 1). Die folgende Tabelle zeigt eine entsprechende Auflistung der wesentlichen Einflussfaktoren auf Fleischqualität:

Tabelle 2: Tabellarische Auflistung der vier Kategorien von Einflussfaktoren auf die Fleischqualität und deren Ausprägungen

| <b>Einflussfaktoren auf die Fleischqualität</b> |  |                                |                              |
|---|--|--------------------------------|------------------------------|
| Genetische Einflüsse                            | Produktionstechnische Einflüsse                        | Prämortale Einflüsse           | Postmortale Einflüsse        |
| Tierart   | Schlachtalter  | Verladen                       | Lagerung                     |
| Rasse   | Mastendgewicht   | Transport                      | Enthaarung                   |
| Genotyp   | Fütterung (Ration, Eiweißgehalt, Zusammensetzung etc.) | Aufstallung/Zutrieb            | Eviszeration                 |
| Spezifische Gene (z.B. Hallothan-Gen)           | Mastart/-dauer   | Umgang vor Schlachtung, Stress | Brühen                       |
| Kategorie                                       | Mastintensität/Ausmästungsgrad                         | Nüchterung                     | Kühlen                       |
| Geschlecht                                      | Haltung,altungsform                                    | Betäubung                      | Fleischreifung, Abhängedauer |
| Erblichkeit von Fleischqualitätsmerkmalen       | Umwelt-Genotyp-Interaktionen                           | Elektrostimulierung            | Rigor mortis                 |
| Stressresistenz                                 | Muskelbeanspruchung/Bewegung                           | Entbluten                      | Injektion                    |
| Fleisch-Teilstück                               | Genotyp-Umwelt-Interaktion                             | Schlachthof                    | Hochdruck                    |
| Stoffwechsel                                    |  | Gesundheit des Tieres          | Marinieren                   |
| Hormone   |  |                                | Schutzgas                    |
| Züchtung  |  |                                | Energiestoffwechsel          |
|   |  |                                | Hygiene                      |
|   |  |                                | Verpackung                   |
|   |  |                                | Haltbarkeitsmaßnahmen        |
|   |  |                                | Zubereitung, Gasmethode      |

nach Ebermann & Elmadfa, 2008, S. 286–287; Ellis et al., 1999; Glatz, 2010, S. 569; Hohenester, 2006, S. 24; Hollung et al., 2009; Kallweit et al., 1988, S. 69; Landschafft Leben, 2023; Littmann et al., 2006, S. 149; Lobitz et al., 2015, S. 48–51; Pugliese & Sirtori, 2012; Rimbach et al., 2010, 70, 80; SLfL, 2006, S. 1; Scholz, 2002, S. 2; Stiebing et al., 2011, S. 2; Warner et al., 2010; Wenk & Prabucki, 1990

Genetische Einflüsse fassen gegebene, im Wesentlichen unveränderbare Aspekte wie das Geschlecht oder den Genotypen zusammen. Fleischqualität bzw. die Leistungsmerkmale eines Tieres werden deutlich, aber nicht ausschließlich von der Genetik beeinflusst (Brenig, 2010; Bussemas & Widmaier, 2011, S. 109; SLfL, 2006, S. 1). Produktionstechnische Einflüsse beschäftigen sich mit dem Lebensabschnitt bis zum Mastende. Hier zugeordnete Aspekte wie die Haltungform oder die Fütterung lassen sich aktiv bearbeiten. Sobald der Schlachtprozess beginnt, wird bis inklusive der Tötung von prämortalen Einflüssen gesprochen. Dazu zählen z.B. die Betäubung oder der Umgang mit den Tieren. Alles Anschließende (z.B. Kühlen oder Verpackung) wird als postmortale Beeinflussung bezeichnet. Auch hier besteht die Möglichkeit der äußeren Bearbeitung (SLfL, 2006, S. 1; Stiebing et al., 2011, S. 2).

Bei Betrachtung von Tabelle 2 ist zu beachten, dass nicht jeder Einflussfaktor jedes Qualitätsmerkmal tangiert und dass die Faktoren unterschiedlich stark wirken. Es existieren außerdem Querverbindungen und Überschneidungen zwischen den verschiedenen Kategorien und bestimmten Fleischqualitätsmerkmalen. Beispielsweise der Aspekt Fleischfarbe wird z.B. von Tierart, Verpackungsart, Schlachtprozess und Bewegungsgrad bestimmt und ist daher in gewissem Maße von allen vier Kategorien abhängig (Stiebing et al., 2011, S. 1–3).

Im Kontext Einflussfaktoren sei ebenfalls erwähnt, dass es durchaus möglich ist, dass Fleisch nicht immer den optimalen Zustand aufweist. Zu den häufigsten Fleischfehlern zählen das PSE- und DFD-Fleisch. Bei beiden Zuständen ist das Fleisch in Bezug auf Farbe, Geschmack, Struktur, Zartheit, Haltbarkeit und Wasserbindungsvermögen aufgrund verschiedenster (Stress-)Faktoren negativ beeinflusst (Rimbach et al., 2010, S. 79; Stiebing et al., 2011, S. 3-4). Dies ist vor allem auf den pH-Wert bzw. dessen Entwicklung post-mortem zurückzuführen. Nach der Schlachtung fällt der pH-Wert durch die Glykolyse, bei der Kohlenhydrate zu Milchsäure abgebaut werden, normalerweise auf 5,7 bis 5,4 ab. Dies bewirkt Schutz vor mikrobiologischen Einwirkungen sowie bessere sensorische Qualitäten. Bei Entstehung von Fleischfehlern findet dieser Vorgang abweichend zur Norm statt. Bei PSE-Fleisch (**P**ale, **S**oft, **E**xudative) kommt es zu einem zu schnellen pH-Wert-Abfall, so dass das Fleisch am Ende blass, bleich und wässrig erscheint (Glatz, 2010, S. 570; SLfL, 2006, S. 3; Stiebing et al., 2011, S. 3). Bei DFD-Fleisch (**D**ark, **F**irm, **D**ry) hingegen, welches primär bei Rindfleisch auftritt, ist der pH-Wert 24 Stunden nach der Schlachtung mit 6,2 immer noch zu hoch. Das Fleisch wirkt trocken, fest und dunkel und weist einen hohen End-pH-Wert auf (SLfL, 2006, S. 3; Stiebing et al., 2011, S. 3–4).

### 3.4 Detaillierte Beschreibung des Fleischqualitätsmerkmals BEFFE

Die vorliegende Arbeit betrachtet gemäß der Zielstellung die Eiweißzusammensetzung von Sattelschweinefleisch mit Fokus auf das Fleischqualitätsmerkmal BEFFE. Die folgenden Absätze beinhalten daher die Definitionen aller relevanten Parameter und Begriffe sowie das Vorgehen zur Bestimmung und Einordnung des BEFFE-Gehaltes.

#### 3.4.1 Erläuterungen von Bindegewebe, Bindegewebseiweiß, BEFFE und Hydroxyprolin

Elementar im Zusammenhang zu den betrachteten Parametern stehend ist das Bindegewebe. Es ist ein heterogenes, überall im Tierkörper vorkommendes, komplex aufgebautes Gewebe, das als Hauptbestandteile Bindegewebszellen und von diesen gebildete Inter- bzw. Extrazellulärsubstanz aufweist. Ebenfalls enthalten sind die Faserproteine Elastin und Kollagen, welche für Halt und Struktur des Gewebes verantwortlich sind (Glatz, 2010, S. 569; Hohenester, 2006, S. 25; Horn, 2019, S. 507; Kallweit et al., 1988, S. 17). Je nach Zusammensetzung und Auftreten des Bindegewebes kann dieses z.B. in lockeres oder straffes Bindegewebe unterteilt werden (Vaupel et al., 2015, S. 47). Zu seinen Funktionen zählen u.a. Stoffaustausch, Stabilisierung und Formgebung der Organe, Speicherort von Wasser und Fett sowie eine unterstützende Abwehrfunktion (Hohenester, 2006, S. 25; Junqueira & Carneiro, 1991, S. 140).

Die charakteristischen Faserarten sind je nach Beanspruchung des Gewebes an unterschiedlichen Stellen des Tierkörpers zu finden. Primärer Vertreter sind mengenmäßig kollagene Fasern. Sie sind zugfester als elastische Fasern, welche daher eher in dehnbaren Organen eingelagert sind (Benger et al., 1969; Hohenester, 2006, S. 25; Horn, 2019, S. 507; Kallweit et al., 1988, S. 17). Die vorliegenden Eiweißstoffe, Kollagen und Elastin, werden Bindegewebs-eiweiße genannt, weshalb Bindegewebe auch als „Gewebe, dessen Eiweißanteil überwiegend aus Bindegewebs-eiweiß (...) besteht“ definiert wird (1.1.1.3, 1.1.3.5 Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse (LFFE)). Insgesamt machen die Eiweißstoffe ca. 20 bis 25 % des Fleischeiweißes bzw. zusammen mit den Organellenproteinen ca. 3 % der Gesamtzusammensetzung aus (vorrangig Kollagen). Sie dienen der Stabilisierung von Organen, Zellen und Gewebe und verfügen über unterschiedliche Eigenschaften. Die in Säuren und Salzlösungen leicht quellbaren, festeren Kollagenfasern bestehen aus Fibrillen, die sich aus einer Tripelhelix bzw. drei Peptidketten ergeben. Aufgrund mehrerer Kombinationsmöglichkeiten gibt es verschiedene Kollagentypen (Hohenester, 2006, S. 25; Kallweit et al., 1988, S. 17; Rimbach et al., 2010, S. 83). Elastin wiederum ist stark hydrophob, wenig quellbar, verzweigt und weist eine verhältnismäßig lockere Struktur auf, weshalb es deutlich elastischer ist. Es ist vorrangig in Sehnen und Nackenband vertreten und wird zur Begrenzung der Ausdehnung mit kollagenen Fasern verwoben (Hohenester, 2006, S. 25; Horn, 2019, S. 509-510; Kallweit et al., 1988, S. 17).

Der Bindegewebs- bzw. Kollagengehalt beeinflusst z.B. die Zartheit von Fleisch. Dies ist u.a. auf die Quervernetzung des Kollagens zurückzuführen, welche z.B. von Fütterung, Alter und der Genetik beeinflusst wird (Müller, 2011, S. 96). Aufgrund der Korrelationen mit den sensorischen Eigenschaften ist das Bindegewebe somit ein wichtiger Parameter für Fleischqualität. Je mehr Bindegewebe vorliegt, desto geringer ist die Zartheit bzw. desto zäher wirkt das Fleisch. Mit Voranschreiten des Schlachtalters bilden sich mehr hitzestabile Querverbindungen zwischen den Kollagenfasern aus. Dies führt dazu, dass das Fleisch sich weiter verfestigt (Hohenester, 2006, S. 25; Kallweit et al., 1988, S. 17; Warner et al., 2010). Folglich und zusammen mit der geringeren ernährungsphysiologischen Qualität im Vergleich zu Muskelfleischproteinen liegt zwischen dem Fleischpreis und dem Bindegewebs-eiweißgehalt eine negative Beziehung vor (Benger et al., 1969; BÜCHI Labortechnik GmbH, 2010, S. 3; Dvořák & Vognarová, 1969; Lobitz et al., 2015, S. 48).

Das äquivalente wert- und preisbestimmende Fleischmerkmal in diesem Kontext ist das sogenannte Bindegewebs-eiweißfreie Fleischeiweiß (BEFFE). Es kommt vor allem im Muskelfleisch vor und dient daher als Parameter für dessen schieren Anteil. Gegenüber des Bindegewebs-eiweißes wird das BEFFE als hochwertig eingestuft, weshalb sein Anteil mit der Qualitätsstufe korreliert (1.1.3.3 LFFE; Lobitz et al., 2015, S. 48; Rimbach et al., 2010, S. 84). In den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse sind zum Schutz des Verbrauchers vor Qualitätstäuschung BEFFE-Minimalgehalte für bestimmte Fleischwaren festgelegt (Rimbach et al., 2010, S. 84). Definiert ist das BEFFE als

Differenz aus Fleischeiweiß und Bindegewebeiseiweiß (Matissek & Fischer, 2021, S. 467). Konkret errechnet es sich, zur Differenzierung zwischen Fleischeiweiß und sonstigen stickstoffhaltigen Verbindungen, anhand folgender Formel (1.1.3.3 LFFE):

$$\text{BEFFE} = \text{Gesamteiweiß} - (\text{Fremdeiweiß} + \text{Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen} + \text{Bindegewebeiseiweiß})$$

(Alle Angaben in Prozent)

*Formel 1: Formel zur Berechnung des BEFFE-Gehaltes in %*

Notwendig zur Bestimmung des BEFFEs ist u.a. der Gehalt an Bindegewebeiseiweiß. Dieser kann über die Quantifizierung der nicht-proteinogenen Aminosäure bzw. Iminosäure 4-Hydroxypyrrolidin-2-carbonsäure (ugs. Hydroxyprolin) ermittelt werden. Grund hierfür ist, dass die Bindegewebsproteine sich in ihrer Zusammensetzung deutlich von denen anderer Fleischeiweiße unterscheiden und Hydroxyprolin praktisch ausschließlich im Bindegewebe bzw. Kollagen vorkommt (Matissek & Fischer, 2021, S. 467; Sigma-Aldrich, 2021, S. 1; Technische Universität Dresden, o.J., S. 12; Wu, 2020). In kollagener Substanz sind 12 bis 13 % dieser Aminosäure enthalten (Schmidhofer, 1966). Sie entsteht durch post-translationale Hydroxylierung von Prolin, einer der proteinogenen Aminosäuren (Sigma-Aldrich, 2021, S. 1). Eine Bestimmung des Hydroxyprolins wird dazu genutzt, um bei Fleischwaren die hier korrelierende Dimension der Fleischqualität zu evaluieren. Eine hohe Hydroxyprolinmenge ist Indikator dafür, dass Fleisch mit schlechter Qualität (z.B. hoher Sehnen- oder Knorpelanteil) verwendet wurde (BÜCHI Labortechnik GmbH, 2010, S. 3). Aufgrund des durchschnittlichen Gehaltes von 12,5 %, was multipliziert mit acht den Gesamtanteil (100 %) ergibt, lässt sich das (kollagene) Bindegewebeiseiweiß nach der folgenden Formel rechnerisch bestimmen (Rimbach et al., 2010, S. 84; Matissek & Fischer, 2021, S. 467; Technische Universität Dresden, o.J., S. 14):

$$\text{Bindegewebeiseiweiß} = 8 \cdot \text{Hydroxyprolingehalt der Probe}$$

(Alle Angaben in Prozent)

*Formel 2: Formel zur Berechnung des Bindegewebeiseiweißgehaltes in %*

Das Elastin, welches mengenmäßig deutlich unter dem Kollagengehalt liegt, bleibt unberücksichtigt. Es enthält sehr wenig Hydroxyprolin (de Wreede & Stegemann, 1982).

### 3.4.2 Bestimmung des BEFFEs über das Hydroxyprolin und Gesamteiweiß

Wie bereits beschrieben, ergibt sich der BEFFE-Gehalt aus der Differenz von Fleischeiweiß und Bindegewebeiseiweiß (Matissek & Fischer, 2021, S. 467). Zur Unterscheidung zwischen Fleischeiweiß und Nicht-Eiweiß-Stickstoffsubstanzen bzw. Fremdeiweiß müssten diese beiden Kennzahlen theoretisch ermittelt und subtrahiert werden (Rimbach et al., 2010, S. 84). Zumindest zugesetzte

Komponenten können im Falle der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen werden, natürlich vorhandene Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen wie z.B. Harnstoff, die ebenfalls zu einer fehlerhaften Erhöhung des Stickstoffanteils führen könnten, müssen hier jedoch akzeptiert werden (1.1.3.6, 1.1.3.7 LFFE; Matissek & Fischer, 2021, S. 479).

Zur Ermittlung des Hydroxyprolinegehaltes sind verschiedene Verfahren möglich (Delpont et al., 2004; Konieczna et al., 2018). Die photometrische Bestimmung zählt zu den durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) zugelassenen Verfahren nach § 64 Absatz 1 des Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuchs (LFGB) (L 06.00-8 ASU; § 64 Absatz 1 LFGB). Bei dieser Methode wird das Hydroxyprolin zunächst mittels saurer Hydrolyse und Chloramin T aus dem Bindegewebe freigesetzt, vom Fettanteil abgetrennt und zu Pyrrol oxidiert. Zusammen mit *p*-Dimethylaminobenzaldehyd ergeben sich rotgefärbte Kondensationsprodukte. Diese können bei einer Wellenlänge von 558 nm bzw. 560 nm photometriert und anschließend mithilfe einer Kalibrierkurve quantitativ ausgewertet werden. Mittels der oben genannten Formel lässt sich der Bindegewebseiweißgehalt berechnen. Die nachfolgende Abbildung gibt den dargestellten Sachverhalt mittels chemischer Formeln wieder (BÜCHI Labortechnik GmbH, 2010, S. 3; Matissek & Fischer, 2021, S. 467–468; Sigma-Aldrich, 2021, S. 1).

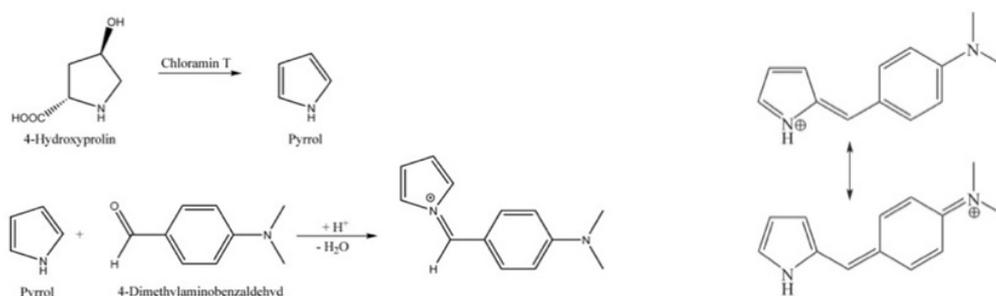


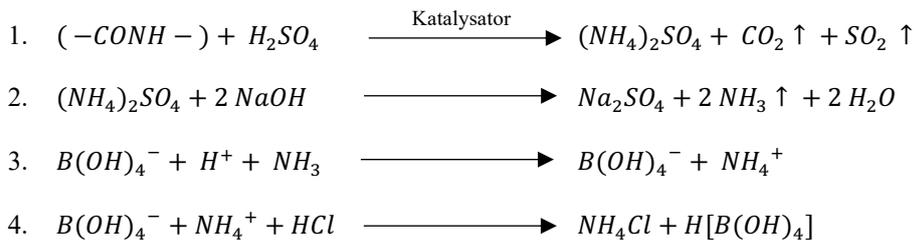
Abbildung 1: Schematisch dargestellte Reaktion für die Bestimmung von Hydroxyprolin und Grenzformeln des mesomeriestabilisierten Kondensationsproduktes

aus BÜCHI Labortechnik GmbH, 2010, S. 3; Matissek & Fischer, 2021, S. 468

Die rote Färbung ist dadurch begründet, dass die Reaktion von Pyrrol mit Dimethylaminobenzaldehyd ein mesomeriestabilisiertes Kation ergibt. Aufgrund des delokalisierten Elektronensystems erscheint es farbig. Die linke Abbildung zeigt die Grenzformeln dieses Ions. Die verwandte Aminosäure Prolin würde diese Farbreaktion nicht aufweisen (Matissek & Fischer, 2021, S. 468).

Zur Bestimmung des Rohproteingehalts kann z.B. die Kjeldahl-Methode verwendet werden. Auch dieses Verfahren zählt zu den durch das BVL nach § 64 LFGB zugelassenen Verfahren (L 06.00-7 ASU). Ziel dieser Durchführung ist die Quantifizierung des Stickstoffes. Dieser liegt organisch gebunden z.B. als Bestandteil von Proteinen in der Probe vor. Mittels konzentrierter Schwefelsäure und

einem Katalysator wird er aufgeschlossen und in Ammoniumsulfat überführt (Nr.1). Dieses wird mit Lauge versetzt, um Ammoniak freizusetzen (Nr. 2). Anschließend erfolgt eine Destillation, wodurch das freigesetzte Ammoniak übergetrieben und in Borsäurelösung aufgefangen werden kann (Nr. 3). Es entsteht Ammoniumtriborat. Die Quantifizierung erfolgt mittels Titration (z.B. mit Salzsäure) gegen einen Indikator (Nr. 4). Über den Verbrauch an Salzsäure wird auf den Stickstoffgehalt geschlossen. Die nachfolgenden Gleichungen stellen das eben beschriebene Reaktionsschema unstöchiometrisch dar. Aufgrund des durchschnittlichen Gehaltes von 16 % Gesamtprotein wird das Ergebnis der Stickstoffbestimmung mit 6,25 multipliziert, dies ergibt den Rohproteingehalt (L 06.00-7 ASU; Matissek & Fischer, 2021, S. 478-479, 482):



aus Matissek & Fischer, 2021, S. 479, 482

Die Kjeldahl-Methode kann nicht zwischen Bindegewebeseiweiß, Skelettmuskelfleischeiweiß oder fleischfremden Eiweißen sowie Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen (z.B. Harnstoff, ATP), die einen höheren Eiweißgehalt vortäuschen können, differenzieren (Glatz, 2010, S. 582; Hohenester, 2006, S. 28). Bestimmt wird daher ein Parameter, der sämtliche stickstoffhaltige Verbindungen mit einbezieht und ggfs. einen abweichenden Proteingehalt angibt (Schmidhofer, 1966).

## 4 Einordnung der Arbeit in das Projekt der OG PERSA

Zur Aufrechterhaltung und Förderung einer vor dem Aussterben bedrohten Schweinerasse, dem Sattelschwein, gibt es Initiativen wie das Projekt der Operationellen Gruppe (OG) „Perspektiven für die wirtschaftliche Nutzung des Sattelschweins“ (PERSA) (BLE, 2021, S. 69-72; OG PERSA, 2021, S. 4-6). Im Folgenden soll dieses Projekt vorgestellt werden, zunächst aber die Rassegruppe der Sattelschweine und die Entwicklung der Schweinezucht zur besseren Einordnung betrachtet werden.

### 4.1 Schweinezucht und deren Entwicklung

Vereinfacht ausgedrückt, können durch das Züchten von Schweinen, die Eigenschaften der Tiere gezielt beeinflusst werden (Land schafft Leben, 2023). Zuchtprogramme können eingeteilt werden in Reinzucht (Paarung innerhalb der gleichen Rasse/Linie), Kreuzungszucht (Paarung verschiedener Rassen/Linien) und Hybridzucht (spezielles Kreuzungszuchtprogramm). Diese Programme haben verschiedene Zwecke und Vor- bzw. Nachteile (Littmann et al., 2006, S. 128–132). Potenziell erwünschte Zuchtergebnisse sind vielseitig und können sich auf Aspekte wie Futtermittelverwertung, Fitness, Tageszunahme, Magerfleischanteil, Fruchtbarkeit oder Fleischbeschaffenheit beziehen (Land

schaftt Leben, 2023; Littmann et al., 2006, S. 107). Da man häufig versucht, mehrere Eigenschaften parallel zu erreichen, gestaltet sich der Prozess aufgrund der Komplexität schwierig. Es werden somit vorrangig Schweinerassen verwendet, die die entsprechenden Charakteristiken bereits aufweisen (Land schafft Leben, 2023). Differenziert wird zwischen Mutter- und Vaterrassen. Bei letzteren wird vor allem auf Fleischleistung, Fleischquantität, ausgeprägte Muskelpartien, Effizienz, Wachstum und eine gute Mastleistung geachtet (Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024; Rimbach et al., 2010, S. 70). Häufig verwendet werden z.B. der Piétrain- oder der Duroc-Eber (Littmann et al., 2006, S. 128). Auf der mütterlichen Seite wird auf die Eigenschaften Fruchtbarkeit, Widerstandsfähigkeit, Gesundheit, Fleischqualität und Aufzuchtleistung geachtet (Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024; Rimbach et al., 2010, S. 70). Typische Mutterrassen sind beispielsweise die Deutsche Landrasse oder das Deutsche Edelschwein (Littmann et al., 2006, S. 128).

Wie bereits erwähnt, sind die Zuchtziele der Schweinezucht sehr vielseitig. Sie unterliegen einem ständigen Wandel, der u.a. mit der gesellschaftlichen Entwicklung korreliert. Allgemein variieren sie je nach Zuchtorganisation und Rasse und richten sich nach der Industrie sowie der Nachfrage der Verbraucher und Landwirte (Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024). Für eine Zeit lang waren Zuchtprogramme darauf fokussiert, eine Kostenreduktion durch z.B. größere Wurfgrößen, bessere Futtermittelverwertung und Gewichtszunahme zu erreichen (van Wijk et al., 2005). Ab ca. den 1960er Jahren und in Teilen auch noch heute fokussiert sich die Schweinezucht darauf, dem Verbraucherwunsch von möglichst magerem, fettarmem Fleisch nachzukommen (Feldmann, 2002, S. 130; Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 83; Petig, 2020, S. 4). Zuvor war die Zucht noch auf das genaue Gegenteil ausgerichtet und versuchte, Fett- und Fleischzuwachs in Korrelation zum gesellschaftlichen Aspekt Wohlstand zu generieren (Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024). Die veränderte Wahrnehmung des Aspektes Fettgehalt lässt sich auf mehrere Ursachen zurückführen. Zum einen war der durch den Fettgehalt bedingte hohe Energiewert aufgrund weniger physisch anstrengender Arbeit nicht mehr notwendig, zum anderen veränderte sich die Nachfrage durch die Verbraucher und der ernährungsphysiologische Light-Produkte-Trend (helles, mageres und fettarmes Fleisch) gewann mehr und mehr an Popularität (Feldmann, 2002, S. 131; Förderverein Bioökonomieforschung e.V., 2024; Littmann et al., 2006, S. 150; Petig, 2020, S. 4; Scholz, 2002, S. 2). Dies resultierte in negativen Auswirkungen auf die Fleischqualität z.B. in Bezug auf geschmackliche Aspekte oder unrentablen Preisen für fettreiches Fleisch. Letzteres wiederum hatte zur Folge, dass Schweinerassen, wie das hier behandelte Sattelschwein, wenig attraktiv zu züchten waren und seither vor dem Aussterben bedroht sind (Feldmann, 2002, S. 130-131; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 83; Petig, 2020, S. 2, 4; Scholz, 2002, S. 2). Auf diese Rassegruppe soll daher im folgenden Kapitel näher eingegangen werden.

## 4.2 Vorstellung der Rassegruppe der Sattelschweine

Die Rassegruppe des Sattelschweins besteht in Deutschland aus vier Populationen: Angler Sattelschwein, Deutsches Sattelschwein, Schwäbisch Hällisches Schwein und Rotbuntes Husumer Schwein (BLE, 2021, S. 68). In nachfolgender Tabelle sind die vier Linien näher erläutert.

*Tabelle 3: Tabellarische Vorstellung der Rassegruppe des Sattelschweins, unterteilt in vier Populationen und beschrieben anhand verschiedener Charakteristiken*

| <b>Die Rassegruppe Sattelschwein</b> |  |  |   |   |
|--------------------------------------|--|--|---|---|
|                                      | Angler Sattelschwein   | Schwäbisch Hällisches Schwein  | Deutsches Sattelschwein   | Rotbuntes Husumer Schwein   |
| Entstehung/<br>Geschichte            | Region Angeln in Schleswig-Holstein (ca. 1920); Kreuzung aus ansässiger Landrasse und britischen Wessex Saddlebacks                      | Kreuzung aus dem chinesischen Jinhua Schwein und Landschwein durch König Wilhelm I. (ca. 1820/21) in Schwäbisch-Hall                     | Kreuzung aus Angler und Schwäbisch Hällischen Schwein in der Nachkriegszeit in der DDR als Lebendgenreserve und zum Erhalt des Sattelschweins | zu Beginn des 20. Jhd. aus roten Farbabschlägen des Angler Sattelschweins und Tamworth-Schwein in Nordfriesland; vorrangig dänische Züchter: „Dänisches Protestschwein“ (dänische Nationalfarben) |
| Aussehen                             | schwarze Pigmentierung mit weißer Zeichnung (Gürtel) in Sattellage, hängende Ohren, großrahmig, tiefrumpfig                              | schwarze Pigmentierung mit weißer Zeichnung (Gürtel) in Sattellage (heller als Artgenossen), hängende Ohren, großrahmig, tiefrumpfig     | schwarze Pigmentierung mit weißer Zeichnung (Gürtel) in Sattellage, hängende Ohren, großrahmig, tiefrumpfig                                   | rote Pigmentierung mit weißer Zeichnung (Gürtel) in Sattellage, hängende Ohren, großrahmig, tiefrumpfig   |
| positive Charakteristiken            | Muttereigenschaften, Fruchtbarkeit, Futtermittelverwertung, Robustheit, hohe Fleischqualität, Eignung für extensive Haltungssysteme etc. | Muttereigenschaften, Fruchtbarkeit, Futtermittelverwertung, Robustheit, hohe Fleischqualität, Eignung für extensive Haltungssysteme etc. | Muttereigenschaften, Fruchtbarkeit, Futtermittelverwertung, Robustheit, hohe Fleischqualität, Eignung für extensive Haltungssysteme etc.      | Muttereigenschaften, Fruchtbarkeit, Futtermittelverwertung, Robustheit, hohe Fleischqualität, Eignung für extensive Haltungssysteme etc.  |
| Nutzung                              | als Mutterrasse  | als Mutterrasse  | als Mutterrasse   | als Mutterrasse   |
| Wurfgröße                            | durchschnittlich elf Ferkel  | durchschnittlich elf Ferkel  | durchschnittlich elf Ferkel   | durchschnittlich elf Ferkel   |
| Tageszunahme                         | 700 bis 800 g  | 800 bis 900 g  | 800 bis 900 g   | 700 bis 800 g   |
| Verbreitung                          | Norddeutschland  | Süddeutschland   | Ostdeutschland  | Norddeutschland   |
| Bestand (2019)                       | Sauen: 82<br>Eber: 26  | Sauen: 344<br>Eber: 21   | Sauen: 209<br>Eber: 55  | Sauen: 101<br>Eber: 44  |

nach Bäuerliche Erzeugnismgemeinschaft Schwäbisch Hall [BESH]; BLE, 2021, S. 68–72; Bühler & Postler, 2004, S. 7; Giovannini et al., 2023; Güntherschulze, 1997; Müller, 2011, S. 27–29; OG PERSA, 2021, S. 4-5; Slow Food Deutschland, o.J.a; Slow Food Deutschland, o.J.b; Welker et al., 2020, S. 27

Allgemein lässt sich sagen, dass der Rassegruppe des Sattelschweins eine Vielzahl an positiven Eigenschaften nachgesagt werden (OG PERSA, 2021, S. 4-5). Sattelschweine sollen z.B. eine gute Mutterrasse in Bezug auf Fruchtbarkeit, Aufzucht der Ferkel oder Milchreichtum sein. Außerdem

verfüge das Fleisch über eine hohe sensorische und verarbeitungstechnologische Fleischqualität. Aufgrund ihrer Anspruchslosigkeit und Robustheit sind Sattelschweine darüber hinaus geeignet für extensive Haltungsformen (z.B. Weide- oder Hüttenhaltung), widerstandsfähig gegenüber einzelnen Krankheiten und tauglich für kostengünstiges Raufutter. Diese positiven Eigenschaften werden allen Mitgliedern der Rassegruppe nachgesagt, im Detail gibt es jedoch Unterschiede wie z.B. den etwas höheren Fleischanteil des Schwäbisch Hällischen Schweins im Vergleich zu seinen Verwandten (BLE, 2021, S. 68, 72; Giovannini et al., 2023; Horstmeyer & Vallbracht, 1990, S. 86; Klemm, R. et al., 2010, S. 11; OG PERSA, 2021, S. 4-5; Paulke, o.J.; Welker et al., 2020, S. 28). Die trotz positiver Charakteristiken niedrigen Bestandszahlen des Sattelschweins sind vor allem auf die bereits aufgeführte Entwicklung zurückzuführen, innerhalb derer sich die Verbraucherwünsche weg vom fettreichen, hin zum mageren, industriell produzierten Schwein verändert haben. Neben diesem Trend sind außerdem die Nachfrage nach einheitlichem Fleisch, die Entwicklung von Agrarpreisen, Qualitätsnormen, wirtschaftlicher Druck und der Wunsch nach mehr Effizienz in der Tierzucht zu berücksichtigende Faktoren. Die Bestandszahlen und Nutzung der Sattelschweingruppe aber auch anderer alter Landrassen gingen daher mit Einführung moderner, neuer Leistungsrassen wie dem Piétrain-Eber stark zurück oder resultierten sogar im Aussterben einzelner Rassen (Bühler & Postler, 2004, S. 7; Chainetr et al., 2002; Feldmann, 2002, S. 130-131; Giovannini et al., 2023; Hörning, 2022, S. 91; Klemm, R. et al., 2010, S. 11; Petig, 2020, S. 4; Scholz, 2002, S. 2).

Sattelschweinfleisch wird im Vergleich zu kommerziell genutzten Rassen ein recht hoher Verfettungsgrad und IMF-Gehalt nachgesagt. Dies wirkt sich positiv auf Fleischqualität und -eigenschaften aus (Schmackhaftigkeit und Zartheit), führt jedoch im Vergleich zu anderen Rassen aber zu geringeren Muskelfleischanteilen bzw. einem ungünstigeren Fleisch-Fett-Verhältnis. Dies macht es deutlich uninteressanter, Sattelschweine zu züchten (Kuhn et al., 2001; Nürnberg et al., 2013; Petig, 2020, S. 2, 4; Welker et al., 2020, S. 28). Die Erhaltungswürdigkeit eben solcher Rassen wird daher heutzutage kontrovers diskutiert. Gegen das Aufrechterhalten sprechen die hohen, ggfs. aus öffentlichen Mitteln finanzierten Kosten, die teilweise leistungsschwächeren Eigenschaften und die bereits ausreichende genetische Vielfalt durch vorhandene Rassen. Befürworter wiederum argumentieren mit dem Risiko der Verarmung der Rassenvielfalt, dem Verlust von Genreserven oder einzigartigen und teilweise überlegenen Eigenschaften des Sattelschweins (z.B. Resistenz gegenüber Krankheiten und anderen Umweltfaktoren). Darüber hinaus bestehe außerdem die Möglichkeit der züchterischen Bearbeitung oder Einbindung in Kreuzungszuchtprogramme zur Verbesserung kommerzieller Schweine und zur Etablierung von umwelt- und naturschonenden Nischenprogrammen. Die alte Haustierrasse sei zusätzlich ein bedrohtes, bedeutsames Gut und Ausdruck bäuerlicher Kulturgeschichte. Unter Berücksichtigung des steigenden Interesses und Bewusstseins sowie zukünftigen Veränderungen der Verbrauchererwartungen, Haltungs- und Umweltbedingungen oder verfügbaren Futtermitteln wird die Daseinsberechtigung der Sattelschweine weiter untermauert. Die Möglichkeit

weiterer unentdeckter positiver Merkmale kann obendrein auch nicht ausgeschlossen werden (Chainetr et al., 2002; Giovannini et al., 2023; Hörning, 2022, S. 91; Klemm, R. et al., 2010, S. 11; Nürnberg et al., 2013; OG PERSA, 2021, S. 4; Petig, 2020, S. 4-6). Mit eben dieser Thematik befasst sich das nun näher beschriebene Projekt der OG PERSA.

### 4.3 Beschreibung des Projektes der OG PERSA

Die OG PERSA arbeitet im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft in der Land- und Forstwirtschaft (EIP-Agri) an dem Projekt „Entwicklung von innovativen Zucht- und Fütterungsstrategien zur Erhaltung und Nutzung wertvoller Rasseigenschaften (Robustheit, Mütterlichkeit, Fleischqualität und Raufutterverwertung) des Sattelschweins“. Es handelt sich bei der OG um ein interdisziplinär und deutschlandweit zusammengesetztes Team, das gemäß seinem Namen, übergeordnet das Ziel verfolgt, (Zukunfts-) „Perspektiven für eine wirtschaftliche Nutzung des Sattelschweins“ zu schaffen. Das Projekt erarbeitet zum Erhalt der Rasse wissenschaftlich fundierte Fakten zu den positiven, dem Sattelschwein nachgesagten Eigenschaften in Bezug auf u.a. Fütterung, Mütterlichkeit und Fleischqualität. Es sollen ebenfalls weitere Daten zum Inzuchtstatus bzw. der Verwandtschaft innerhalb der kleinen Sattelschwein-Bestände akquiriert werden. In Zukunft könnten die ggfs. nachgewiesenen positiven Eigenschaften der Haustierrasse, die mit dem Aussterben der Rasse verloren gehen würden, von Vorteil sein, da sich ändernden Bedingungen (z.B. durch den Klimawandel), einer veränderten Nachfrage durch den Verbraucher oder der Einschränkung genetischer Vielfalt entgegengewirkt werden kann (OG PERSA, 2021, S. 2-13).

Strukturiert ist die OG in fünf Arbeitspakete, die die Aspekte Zucht, Robustheit/Mütterlichkeit, Fütterung, Fleischqualität und Projektleitung behandeln. Die Zusammensetzung der OG ist interdisziplinär und aus Partnern der Land- und Forstwirtschaft (z.B. dem ÖKORING, Sattelschweinaltern und -züchtern) sowie der Wissenschaft beispielsweise in Form der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW). Die HAW ist beteiligt am Arbeitspaket zur Fleischqualität, in welchem Sattelschweinfleisch bezüglich verschiedener Fleischqualitätsparameter untersucht wird. Dazu zählen z.B. der IMF-Gehalt und die Fettsäuremuster sowie der Eiweißgehalt und dessen Zusammensetzung. An dieser Stelle lässt sich die vorliegende Arbeit einordnen. Um wissenschaftliche Aussagen über das Qualitätsmerkmal Eiweiß- bzw. BEFFE-Gehalt machen zu können, soll, gemäß der Erklärung aus den vorherigen Kapiteln, die photometrische Bestimmung des Hydroxyprolinegehaltes, die Ermittlung des Gesamtproteins mittels Kjeldahl und die rechnerische Herleitung des Bindegewebeiweißes und BEFFE-Gehaltes bei Sattelschweinfleisch erfolgen. Die Ergebnisse können dann als erste Vergleichs- und Referenzparameter genutzt werden und so einen Beitrag zur Ermittlung einer angemessenen Preisfindung von Sattelschweinfleisch bzw. zum allgemeinen Erhalt der Rassegruppe leisten (OG PERSA, 2021, S. 2-13).

## 5 Methodik

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ermittlung der Parameter Hydroxyprolin, Bindegewebeisweiß, Rohprotein und BEFFE zur Identifikation evidenzbasierter Qualitätsparameter für Sattelschweinfleisch. Untersucht wurde dabei das Fleisch von Rotbunten Husumer Schweinen mittels der photometrischen Bestimmung der Aminosäure Hydroxyprolin, der Kjeldahl-Methode sowie anschließender rechnerischer Auswertungen. Um eine Zuverlässigkeit und Eignung der Methoden zu gewährleisten, wurde sich an der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren (ASU) des BVL gemäß § 64 Absatz 1 Satz 1 des LFGB orientiert. Beide ausgewählten Verfahren sind nach der ASU als geeignete Referenzverfahren zur Untersuchung von Fleisch und Fleischerzeugnissen aufgelistet (L 06.00-7 ASU; L 06.00-8 ASU; § 64 Abs. 1 Satz 1 LFGB). Im folgenden Kapitel werden die genutzten experimentellen Methoden sowie alle weiteren Vorgehensweisen erläutert.

### 5.1 Literaturrecherche

Die im theoretischen Hintergrund genutzte (Fach-)Literatur zur Bereitstellung notwendiger Hintergrundinformationen für das Verständnis und zur Einordnung der vorliegenden Arbeit wurde nach dem folgend erläuterten Schema erarbeitet. Zunächst wurden gängige Fachbücher der Lebensmittelwarekunde über den Hochschulinformations- und Bibliotheksservice der HAW identifiziert und zur Ermittlung allgemeiner Hintergrundinformationen über Fleisch und deren Untersuchung (z.B. Zusammensetzung, Kjeldahl-Methode oder Fleischqualität) herangezogen. Die Ergebnisse wurden durch weitere, online verfügbare Literatur ergänzt, die mittels verschiedener Schlagwortsuchen (größtenteils auf Deutsch) identifiziert werden konnten. Von einem PRISMA-Flowchart wurde aufgrund des geringen Bezugs zur Arbeit und zu großen Trefferzahlen im Rahmen der Suchanfragen verzichtet. Folgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt der durchgeführten Schlagwortsuchen (Suchstrategietabelle). Eine vollständige Aufführung dieser Tabelle ist im Anhang Teil D aufgeführt.

*Tabelle 4: Ausgewählte Suchanfragen der Suchstrategietabelle zur Akquirierung geeigneter (Fach-)Literatur für den theoretischen Hintergrund, sortiert nach Themenblöcken*

| Themenblock               | Datenbank      | Suchwörter und Operatoren     |
|---------------------------|----------------|-------------------------------|
| Fleischqualität           | Google Scholar | Fleischqualität UND Schwein   |
| BEFFE                     | Google Scholar | BEFFE (UND Schwein)           |
| Rassegruppe Sattelschwein | Google Scholar | Deutsches Sattelschwein       |
|                           | Google Scholar | Angler Sattelschwein          |
|                           | Google Scholar | Schwäbisch Hällisches Schwein |

|               |                |  |
|---------------|----------------|--|
|               | Google Scholar | Rotbuntes Husumer Schwein                |
| Schweinezucht | Google Scholar | Schweinezucht UND Rassen UND Deutschland |
|               | Google Scholar | Entwicklung UND Züchtung UND Schweine    |
|               | Google Scholar | Schweinezucht UND Deutschland            |

Verwendet wurde die Datenbank Google Scholar, da es vor allem zum Sattelschwein wenig wissenschaftliche und aktuelle Literatur gibt. In anderen gängigen Datenbanken konnten keine passenden Quellen identifiziert werden. Gefiltert wurden die Ergebnisse der Suchanfragen zunächst anhand ihrer Titel und später durch Durchlesen der Abstracts oder auch gesamter Texte. Nachdem die benötigten und relevanten Informationen aus den Quellen gesammelt worden sind, wurden weitere fehlende Angaben durch neue spezifische Schlagwortsuchen ergänzt. Insgesamt konnte so eine Vielzahl an Artikeln, Zeitschriftenaufsätzen, Informationsbroschüren verschiedener Ministerien, weitere Fachbücher oder Abschluss- und Forschungsarbeiten identifiziert werden.

## 5.2 Probenbeschreibung

### 5.2.1 Material

Untersucht wurde das Fleisch von Rotbunten Husumer Schweinen, einer Unterart der Sattelschweine. Die Fleischproben wurden durch das Projekt der OG PERSA bereitgestellt. Es handelt sich um die Fleischpartie Kotelett (*Musculus longissimus dorsi*), von dem das Auflagenfett bestmöglich entfernt worden ist. Insgesamt wurden 27 Proben analysiert und ausgewertet. Als Referenz und zur Überprüfung der Methoden wurden zusätzlich zu den betrachteten Sattelschwein-Proben sechs weitere gekaufte Schweinefleischproben untersucht. Dabei handelt es sich um handelsübliche Koteletts, von denen zwei aus ökologischer Haltung (Haltungsstufe 4) (Bio1/2), zwei aus Haltungsstufe 3 (Meyers Genuss Sample (MGS1/2)) und die weiteren zwei aus Haltungsstufe 2 (Kotelett Sample (KS1/2)) stammen. Zu all diesen Proben lagen keine Angaben zu Faktoren vor, die die Ergebnisse der Eiweißbestimmungen beeinflusst haben könnten. Dies und die fehlende Einheitlichkeit dieser zweiten Stichprobe muss bei Interpretation und Einordnung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

### 5.2.2 Probenvorbereitung

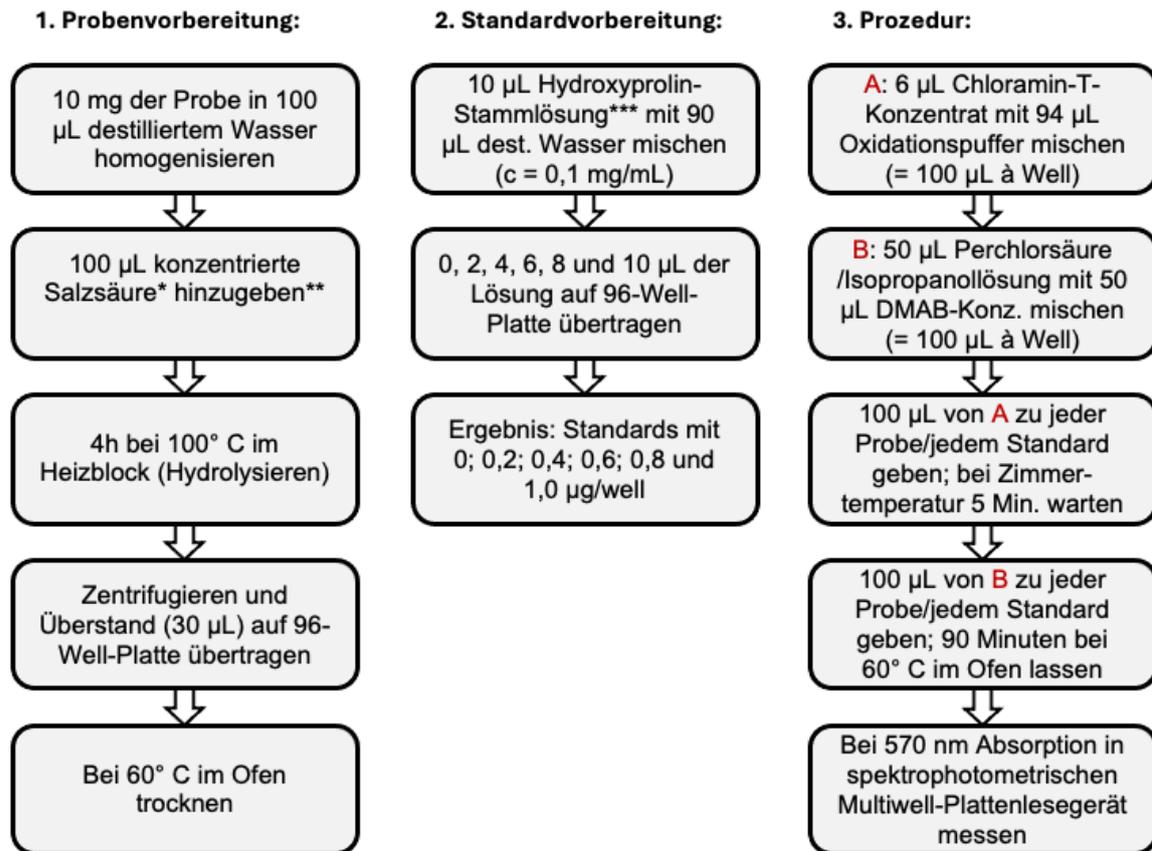
Die vorliegenden Proben wurden vor den Versuchsdurchführungen dieser Arbeit bereits anderen Untersuchungen unterzogen und lagen daher bereits abgepackt in homogenisierter Form vor. Für die Homogenisierung wurde das gefrorene Fleisch zunächst händisch in möglichst kleine Stücke geschnitten und, um die Veränderung der Fleischzusammensetzung möglichst wenig zu beeinflussen,

in kurzen Intervallen mittels geeigneter Küchenmaschine mit Mix-Funktion homogenisiert. Es wurde versucht, darauf zu achten, dass keine Erhitzung der Proben erfolgt, da dies zu einer Teildenaturierung der Proteine hätte führen können, was die Ergebnisse der folgenden Untersuchungen entsprechend verfälscht hätte. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass eine vollständige und nicht nachteilig beeinflussende Homogenisierung der Proben stattgefunden hat. Auf den Aspekt der Homogenisierung als Fehlerquelle wird im Diskussionsteil erneut eingegangen.

Gelagert wurden die Proben im Gefrierschrank. Für die Versuche wurden die Proben im Vorfeld rechtzeitig in einen Kühlschrank überführt, um anschließend im aufgetauten Zustand untersucht zu werden. Auf die Auswirkungen dieses Vorgehens wird ebenfalls im Diskussionsteil erneut eingegangen.

### 5.3 Photometrische Bestimmung von Hydroxyprolin

Aufgrund des hohen Zeitaufwandes bei klassischem Vorgehen gemäß ASU und zum Testen einer neuen Methode wurde die photometrische Bestimmung des Hydroxyprolins mittels des Sigma-Aldrich *Hydroxyproline Assay Kits* vorgenommen. Die chemischen Hintergründe sind dieselben wie bei der Versuchsanleitung der ASU und entsprechen denen unter Abschnitt 3.4.2 dieser Arbeit. Auf potenzielle Schwachstellen und Kritik wird im Diskussionsteil eingegangen. Die genaue Versuchsanleitung des Kits ist im Anhang Teil A aufgeführt. Folgendes Schema stellt das Vorgehen grob dar:



\*32%-ige Salzsäure

\*\* in einem Polypropylen-Fläschchen mit PTFE-Verschluss

\*\*\*Hydroxyprolin-Stammlösung mit 1 mg Hydroxyprolin/mL Lösung

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung der photometrischen Bestimmung von Hydroxyprolin als dreigeteiltes Flussdiagramm nach dem Hydroxyproline Assay Kit von Sigma-Aldrich

nach Sigma-Aldrich, 2021, S. 1–2

Gemäß der Anleitung wurden alle Proben und Standards in Doppelbestimmung durchgeführt. Es wurde ebenfalls versucht, die Proben gemäß der Anleitung zu spiken. Dies führte jedoch zu uneinheitlichen, stark schwankenden Ergebnissen, weshalb diese nicht für eine weitere, aufschlussreiche Auswertung genutzt werden konnten (Sigma-Aldrich, 2021, S. 2).

Nachdem die Absorption aller Proben und Standards ermittelt wurde, wurden die Messergebnisse in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft-Excel übertragen. Von allen Werten wurde anschließend der Blindwert (Messwert aus Standard ohne jegliches Hydroxyprolin) subtrahiert. Die Standardkurve (Trendlinie inkl. Funktionsgleichung) lies sich dann durch Eintragen der Absorption der Standard-Hydroxyprolinlösungen bei 570 nm in Abhängigkeit von deren Hydroxyprolingehalt in  $\mu\text{g}$  herleiten. Durch Umstellen der Geradengleichung konnte dann jeweils die Hydroxyprolin-Menge in den untersuchten Proben je nach Absorption bei 570 nm errechnet werden. Dabei entspricht der y-Wert der Absorption und der x-Wert der gesuchten Hydroxyprolinmenge (in  $\mu\text{g/well}$ ) (Sigma-

Aldrich, 2021, S. 3). Die in den Proben prozentual vorliegende Hydroxyprolinmenge wurde nach folgender Formel errechnet:

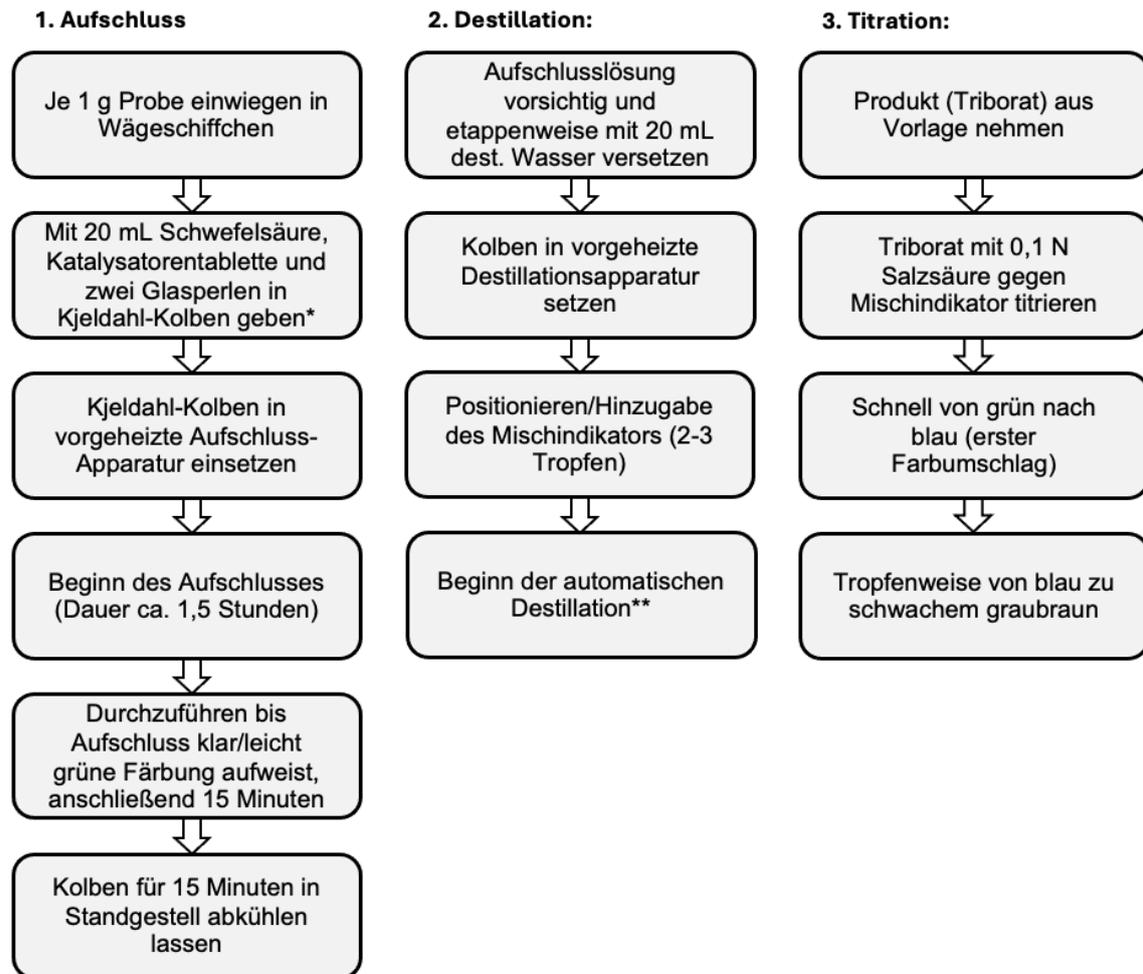
$$\% \text{ Hydroxyprolin} = \frac{\text{Hydroxyprolin} \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{well}} \right] \cdot \frac{(200 \mu\text{L} + \text{hydolyierte Einwaage} [\mu\text{L}])}{30 \mu\text{L}}}{\text{Einwaage} [\text{g}]} \cdot 10^{-6} \cdot 100$$

*Formel 3: Formel zur Berechnung des Hydroxyprolingehaltes in % anhand gemessener, errechneter oder gegebener Parameter*

An dieser Stelle sei erwähnt, dass von der vorgegebenen Wellenlänge von 560 nm abgewichen werden musste, da das vorhandene spektrophotometrische Multiwell-Plattenlesegerät lediglich einen Filter von 570 nm aufweist. Dies muss bei Einordnung und Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden (Sigma-Aldrich, 2021, S. 2). Ebenfalls wurde aus Sicherheitsgründen von der vorgegeben Konzentration der Salzsäure (32 % statt 37 %) abgewichen und auch die Temperatur des Heizblockes konnte aufgrund verfügbarer Geräte nur 100° C statt 120° C erreichen (Sigma-Aldrich, 2021, S. 1). Bei Betrachtung der Ergebnisse muss daher auch auf den Aspekt der ggfs. unvollständigen Hydrolyse durch geringere Aggressivität und Nicht-Erreichen der für die Erhitzung der Salzsäure vorgesehenen Temperatur und die daraus resultierende, geringere Freisetzung des Hydroxyprolins geachtet werden.

#### 5.4 Bestimmung des Rohproteingehaltes nach Kjeldahl

Die Untersuchung nach der Kjeldahl-Methode wurde nach der internen Versuchsanleitung des Lebensmittelchemie-Labors der HAW durchgeführt. Diese ist detailliert im Anhang Teil B aufgeführt. Das Prinzip und der generelle Ablauf stimmen mit der Versuchsdurchführung nach der ASU überein. Folgendes Schema stellt das Vorgehen der Kjeldahl-Methode dar:



\*pro Durchgang wurden immer fünf Proben in Doppelbestimmung und zwei Blindwerte bestimmt (insgesamt 12 Kolben)

\*\*Parameter sind im Anhang Teil C aufgeführt

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung der Kjeldahl-Methode als dreigeteiltes Flussdiagramm nach der internen Versuchsanleitung des Lebensmittelchemie-Labors der HAW

nach HAW Hamburg: Department Ökotoxikologie [ÖT], 2021, S. 32-34

Die Einwaage-Menge der Proben wurde anhand mehrerer Test-Versuche ausprobiert und auf ein Gramm festgelegt. Für die Auswertung wurde eine mit Microsoft-Excel konfigurierte Kalkulationstabelle verwendet. Zur Ermittlung des Stickstoffgehaltes  $W_N$  und des Proteinanteils  $W_{Prot}$  wurden folgende Formeln genutzt:

$W_N$  in g Stickstoff pro 100 g Probe:

$$W_N = \frac{(V - V_0) \cdot f \cdot 1,4008 \cdot N}{E}$$

Formel 4: Formel zur Berechnung des Rohstickstoffgehaltes in %

$W_{Prot}$  in g Protein pro 100 g Probe:

$$W_{Prot} = W_N \cdot F$$

Formel 5: Formel zur Berechnung des Rohproteingehaltes in %

|        |  |
|--------|--|
| V      | Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung in mL                     |
| $V_0$  | Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung im Blindversuch in mL     |
| f      | Faktor der 0,1 N Salzsäure, $f = 1,000$                    |
| 1,4008 | 1 mL Salzsäure (0,1 mol/L) entspricht 1,4008 mg Stickstoff |
| N      | Normalität der Salzsäure-Maßlösung, $N = 0,1$              |
| E      | Einwaage der Probe in g                                    |
| F      | Umrechnungsfaktor von Stickstoff zu Eiweiß, $F = 6,25$     |

(HAW Hamburg: Department ÖT, 2021, S. 35)

## 5.5 Rechnerische Herleitung von Bindegewebsprotein und BEFFE

Um die letzten beiden Parameter der Fragestellung, das (kollagene) Bindegewebsprotein und das BEFFE, zu bestimmen, wurden die aus den Versuchen ermittelten bzw. errechneten Ergebnisse übertragen und die folgenden zwei Formeln, gemäß der Erklärung im theoretischen Hintergrund, verwendet:

1. **Bindegewebsprotein =  $8 \cdot$  Hydroxyprolingehalt der Probe** (alle Angaben in Prozent)

*Formel 6: Formel zur Berechnung des Bindegewebsprotein-Gehaltes in %*

aus Matissek & Fischer, 2021, S. 467

2. **BEFFE = Gesamteiweiß – Bindegewebsprotein** (alle Angaben in Prozent)

*Formel 7: Vereinfachte Formel zur Berechnung des BEFFE-Gehaltes in %*

aus Matissek & Fischer, 2021, S. 467

## 5.6 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse wurden vorrangig deskriptiv ausgewertet. Zu den Kennzahlen zählen der arithmetische Mittelwert ( $\bar{x}$ ), der Median, die Standardabweichung und die Spannweite (Range) sowie Maximum und Minimum. Zur Ermittlung potenzieller Indizien für den Vergleich zwischen Referenz- und Sattelschwein-Proben und auch innerhalb der Sattelschwein-Kohorte wurden für jeden Parameter ein Boxplot-Diagramm erstellt und die 95 %-Konfidenzintervalle berechnet. Zur Ermittlung der Konfidenzintervalle wurde angenommen, dass es sich um eine näherungsweise normalverteilte Größe handelt. Verwendet wurde für alle Auswertungen die Software Microsoft Excel.

## 6 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Laborexperimente samt Auswertungen präsentiert und in Bezug auf Lagemaße der zentralen Tendenz sowie Streuungsmaße analysiert. Gemäß der Forschungsfrage wird dabei zwischen dem Gehalt an Hydroxyprolin, Rohprotein, Bindegewebsprotein und BEFFE differenziert. Die Parameter Hydroxyprolin und Rohprotein wurden, wie im Methodik-Teil beschrieben, experimentell bestimmt, die anderen beiden Größen

rechnerisch aus diesen hergeleitet. Alle Ergebnisse wurden in Boxplot-Diagrammen dargestellt und die 95 %-Konfidenzintervalle berechnet, um zu überprüfen, inwiefern es Indizien für Auffälligkeiten innerhalb der Sattelschwein-Kohorte und im Vergleich zu gekauftem Fleisch gibt. Letzteres ist in allen Ergebnistabellen dunkelgrau hinterlegt aufgeführt und nicht in der Berechnung der Lage- und Streuungsmaße inbegriffen.

## 6.1 Hydroxyprolingehalt

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der photometrischen Hydroxyprolin-Bestimmung in Prozent dar. Bei den angegebenen Werten handelt es sich jeweils um den arithmetischen Mittelwert einer Mehrfachbestimmung. Aufgeführt werden sowohl die Ergebnisse der Sattelschwein-Proben als auch die des gekauften Fleisches. Eine vollständige Auflistung aller (Zwischen-)Ergebnisse ist im Anhang Teil F aufgeführt.

*Tabelle 5: Tabellarische Darstellung der experimentell bestimmten Hydroxyprolingehalte in % für das Sattelschweiffleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern*

| Probennummer     | Hydroxyprolin in % | Probennummer     | Hydroxyprolin in % |
|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| PVC 005 Schl. 22 | 0,02132            | PVC 057 Schl. 26 | 0,02067            |
| PVC 006 Schl. 27 | 0,01818            | PVC 058 Schl. 27 | 0,01748            |
| PVC 014 Schl. 25 | 0,01662            | PVC 059 Schl. 25 | 0,01375            |
| PVC 019 Schl. 26 | 0,01480            | PVC 060 Schl. 19 | 0,01742            |
| PVC 020 Schl. 25 | 0,01572            | PVC 061 Schl. 24 | 0,02452            |
| PVC 021 Schl. 22 | 0,02606            | PVC 062 Schl. 22 | 0,01974            |
| PVC 022 Schl. 23 | 0,02275            | PVC 063 Schl. 24 | 0,01826            |
| PVC 043 Schl. 25 | 0,01597            | PVC 064 Schl. 20 | 0,02042            |
| PVC 045 Schl. 21 | 0,01469            | PVC 065 Schl. 18 | 0,02451            |
| PVC 046 Schl. 24 | 0,02129            | PVC 066 Schl. 20 | 0,01854            |
| PVC 047 Schl. 24 | 0,01610            | $\bar{x}$        | 0,01960            |
| PVC 048 Schl. 26 | 0,01723            | KS1              | 0,01348            |
| PVC 049 Schl. 23 | 0,02081            | KS2              | 0,01775            |
| PVC 050 Schl. 17 | 0,01718            | Bio1             | 0,02155            |
| PVC 052 Schl. 23 | 0,01400            | Bio2             | 0,02094            |
| PVC 055 Schl. 23 | 0,01731            | MGS1             | 0,01288            |
| PCV 056 Schl. 21 | 0,04382            | MGS2             | 0,01649            |

Alle Ergebnisse wurden aufgrund der geringen Gehalte auf fünf Nachkommastellen gerundet. Für die Sattelschwein-Kohorte ergaben sich folgende Kennzahlen: Das arithmetische Mittel beträgt 0,01960 % und der Median 0,01818 %. Der höchste Gehalt wurde gemessen in Probenummer PVC 056 mit 0,04382 % Hydroxyprolin, der geringste in Probenummer PVC 059 mit 0,01375 %. Die Spannweite der Ergebnisse liegt demnach bei 0,03007 %. Des Weiteren beträgt die Standardabweichung 0,00585 %.

Das folgende Boxplot-Diagramm ermöglicht einen ersten Einblick in die Einordnung der Ergebnisse und liefert ggfs. Indizien für den Vergleich zu den gekauften Referenzproben. Links abgebildet ist die reine Sattelschwein-Kohorte, rechts die gemischte Kohorte (jeweils in Prozent).

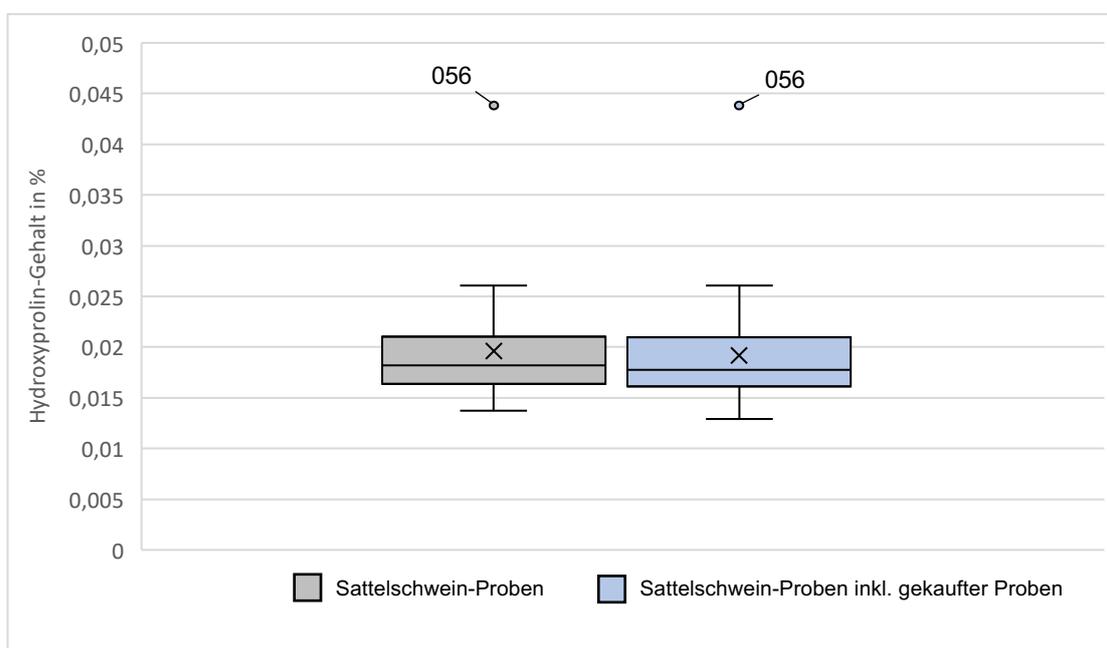


Abbildung 4: Boxplot-Diagramm für den Hydroxyprolingehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts)

Die folgende Tabelle zeigt zur konkreten Gegenüberstellung die Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für die Sattelschwein- und die gemischte Kohorte. Zu den Kennzahlen zählen u.a. die erste und die dritte Quartilsgrenze (Q1 bzw. Q3), der Interquartilsabstand (IQA) sowie die obere und die untere Ausreißergrenze (OA bzw. UA).

Tabelle 6: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Hydroxyprolingehalt

| Kennzahl              | Sattelschwein-Kohorte in % | Gemischte Kohorte in % |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|
| Arithmetisches Mittel | 0,01960                    | 0,01916                |
| Median                | 0,01818                    | 0,01775                |
| Maximum               | 0,04382                    | 0,04382                |
| Minimum               | 0,01375                    | 0,01288                |
| Q1                    | 0,01636                    | 0,01610                |

|                |         |         |
|----------------|---------|---------|
| Q3             | 0,02105 | 0,02094 |
| IQA            | 0,00469 | 0,00484 |
| 1,5-facher IQA | 0,00704 | 0,00726 |
| OA             | 0,02809 | 0,02820 |
| UA             | 0,00933 | 0,00884 |

errechnet nach Bortz & Schuster, 2016, S. 44-45

Im Falle beider Kohorten ist lediglich die Probe PVC 056 ein oberer Ausreißerpunkt. Der Rest der Proben befindet sich jeweils innerhalb des durch Q1 und Q3 aufgespannten Bereichs.

Zur Identifikation weiterer Indizien über die Einordnung der Kohorten wurden die 95 % - Konfidenzintervalle berechnet. In beiden Fällen wurden die gerundeten Ergebnisse verwendet. Aufgrund der geringen Stichprobengröße lässt sich keine (asymptotische) Normalverteilung unterstellen, so dass es sich nur um ein näherungsweise Konfidenzintervall handelt:

Formel für die Berechnung des 95 % - Konfidenzintervalls (KI):

$$KI = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Formel 8: Formel zur Berechnung des 95 % - Konfidenzintervalls

aus Grabinger, 2018, S. 412-413

$\bar{x}$  = arithmetischer Mittelwert

$z$  = z-Wert für das Konfidenzniveau (hier: 1,96)

$s$  = Standardabweichung

$n$  = Stichprobengröße

95 % - KI der Sattelschwein-Kohorte:

$$KI = 0,01960 \pm 1,96 \cdot \frac{0,00585}{\sqrt{27}}$$

$$[ 0,01739 ; 0,02181 ]$$

95 % - KI der gemischten Kohorte:

$$KI = 0,01916 \pm 1,96 \cdot \frac{0,00554}{\sqrt{33}}$$

$$[ 0,01727 ; 0,02105 ]$$

nach Grabinger, 2018, S. 412-413

Im Falle des linken Konfidenzintervalls fallen die Probennummern PVC 014, 019, 020, 021, 022, 043, 045, 047, 048, 050, 052, 055, 056, 059, 061, 065 und die Referenzproben KS1, MGS1 und MGS2 nicht in das Intervall, für das rechte PVC 005, 014, 019, 020, 021, 022, 043, 045, 046047, 048, 050, 052, 056, 059, 061, 065 sowie Bio1, KS1, MGS1 und MGS2.

## 6.2 Rohproteingehalt

Gemäß der Zielstellung wurde neben dem Hydroxyprolinegehalt auch der Rohproteingehalt experimentell bestimmt. Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse angegeben in Prozent. Auch hier handelt es sich um den Mittelwert einer Doppelbestimmung für die Sattelschwein- und die gemischte Kohorte. Im Anhang Teil E ist eine vollständige Ergebnistabelle aufgeführt.

Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der experimentell bestimmten Rohproteingehalte in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern

| Probennummer     | Rohproteingehalt in % | Probennummer     | Rohproteingehalt in % |
|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| PVC 005 Schl. 22 | 25,53                 | PVC 057 Schl. 26 | 25,57                 |
| PVC 006 Schl. 27 | 25,10                 | PVC 058 Schl. 27 | 25,49                 |
| PVC 014 Schl. 25 | 26,78                 | PVC 059 Schl. 25 | 26,29                 |
| PVC 019 Schl. 26 | 25,87                 | PVC 060 Schl. 19 | 26,08                 |
| PVC 020 Schl. 25 | 24,98                 | PVC 061 Schl. 24 | 22,74                 |
| PVC 021 Schl. 22 | 26,57                 | PVC 062 Schl. 22 | 26,98                 |
| PVC 022 Schl. 23 | 25,82                 | PVC 063 Schl. 24 | 26,74                 |
| PVC 043 Schl. 25 | 28,43                 | PVC 064 Schl. 20 | 23,40                 |
| PVC 045 Schl. 21 | 25,55                 | PVC 065 Schl. 18 | 22,47                 |
| PVC 046 Schl. 24 | 27,21                 | PVC 066 Schl. 20 | 26,53                 |
| PVC 047 Schl. 24 | 26,67                 | $\bar{x}$        | 25,96                 |
| PVC 048 Schl. 26 | 26,87                 | KS1              | 25,18                 |
| PVC 049 Schl. 23 | 26,44                 | KS2              | 25,57                 |
| PVC 050 Schl. 17 | 25,59                 | Bio1             | 24,19                 |
| PVC 052 Schl. 23 | 27,07                 | Bio2             | 22,48                 |
| PVC 055 Schl. 23 | 26,26                 | MGS1             | 25,25                 |
| PCV 056 Schl. 21 | 27,77                 | MGS2             | 25,97                 |

Alle vorliegenden Werte wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet. Für die Sattelschwein-Proben wurden folgende deskriptive Kenngrößen ermittelt: Der arithmetische Mittelwert beträgt 25,96 % und der Median 26,26 %. Der geringste Gehalt wurde dabei bestimmt in Probe PVC 065 mit 22,47 % und der höchste Gehalt mit 28,43 % in Probe PVC 043. Die Range beträgt daher 5,96 %. Die Standardabweichung ergab zudem 1,37 %.

Folgendes Boxplot-Diagramm gibt einen visuellen Einblick in die Verteilung der Rohproteingehalte innerhalb der Kohorte der Sattelschwein-Proben (links) im Kontrast zu der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und den gekauften Proben (rechts) in Prozent:

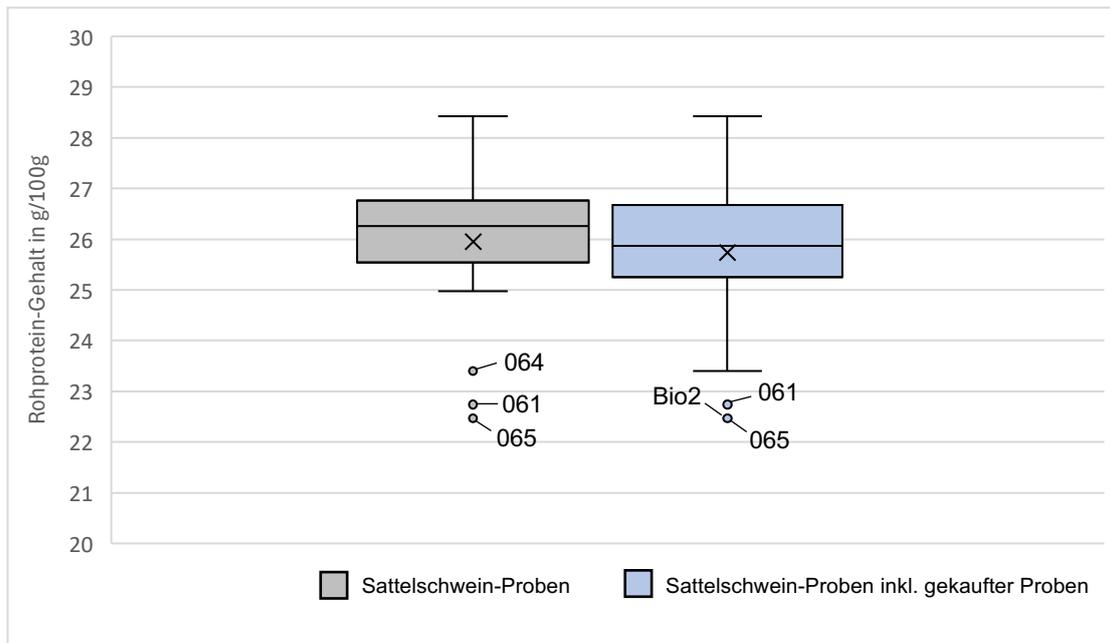


Abbildung 5: Boxplot-Diagramm für den Rohproteingehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts)

Die nun aufgeführte Tabelle stellt die einzelnen Kennzahlen aus dem Boxplot noch einmal detailliert und gegenübergestellt dar:

Tabelle 8: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Rohproteingehalt

| Kennzahl              | Sattelschwein-Proben in % | Gemischte Kohorte in % |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| Arithmetisches Mittel | 25,96                     | 25,74                  |
| Median                | 26,26                     | 25,87                  |
| Maximum               | 28,43                     | 28,43                  |
| Minimum               | 22,47                     | 22,47                  |
| Q1                    | 25,54                     | 25,25                  |
| Q3                    | 26,76                     | 26,67                  |
| IQA                   | 1,22                      | 1,42                   |
| 1,5-facher IQA        | 1,83                      | 2,13                   |
| OA                    | 28,59                     | 28,80                  |
| UA                    | 23,71                     | 23,12                  |

errechnet nach Bortz & Schuster, 2016, S. 44-45

Die berechneten Ausreißergrenzen für die Sattelschwein-Kohorte würden die Proben PVC 061, 064 und 065 zu unteren Ausreißerpunkten machen, ebenso die gekaufte Probe Bio 2. Im Falle der gemischten Kohorte wären die Proben 061, 065 und Bio2 untere Ausreißerpunkte.

Um auch hier weitere Indizien über die Sattelschwein- und die gemischte Kohorte zu erhalten, wurden nach dem gleichen Prinzip die 95 % - Konfidenzintervalle berechnet. Auch hier liegt keine Normalverteilung vor und es wurde mit den gerundeten Ergebnissen gerechnet.

95 % - KI der Sattelschwein-Kohorte:

$$KI = 25,96 \pm 1,96 \cdot \frac{1,37}{\sqrt{27}}$$

[ 25,44 ; 26,48 ]

95 % - KI der gemischten Kohorte:

$$KI = 25,74 \pm 1,96 \cdot \frac{1,41}{\sqrt{33}}$$

[ 25,26 ; 26,22 ]

nach Grabinger, 2018, S. 412-413

Im Falle des linken Konfidenzintervalls fallen somit die Probennummern PVC 006, 014, 020, 021, 043, 046, 047, 048 052, 056, 061, 062, 063, 064, 065, 066 und die Referenzproben Bio1, Bio2, KS1 und MGS1 nicht in das Konfidenzintervall, für das rechte PVC 006, 014, 020, 021, 043, 046, 047, 048, 049, 052, 055, 056, 059, 061, 062, 063, 064, 065, 066 und Bio1, Bio2, KS1 und MGS1.

### 6.3 Bindegewebeseiweißgehalt

Mittels der zuvor bereits aufgeführten Ergebnisse der Hydroxyprolin-Bestimmung wurden anschließend die Bindegewebeseiweißgehalte berechnet. Diese sind in folgender Tabelle aufgeführt. Auch hier wurden stets die gerundeten Ergebnisse zur weiteren Auswertung verwendet.

*Tabelle 9: Tabellarische Darstellung der aus den Hydroxyprolingehalten berechnete Bindegewebeseiweißgehalt in % für das Sattelschweinfleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern*

| Probennummer     | Bindegewebeseiweiß in % | Probennummer     | Bindegewebeseiweiß in % |
|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| PVC 005 Schl. 22 | 0,171                   | PVC 057 Schl. 26 | 0,165                   |
| PVC 006 Schl. 27 | 0,145                   | PVC 058 Schl. 27 | 0,140                   |
| PVC 014 Schl. 25 | 0,133                   | PVC 059 Schl. 25 | 0,110                   |
| PVC 019 Schl. 26 | 0,118                   | PVC 060 Schl. 19 | 0,139                   |
| PVC 020 Schl. 25 | 0,126                   | PVC 061 Schl. 24 | 0,196                   |
| PVC 021 Schl. 22 | 0,208                   | PVC 062 Schl. 22 | 0,158                   |
| PVC 022 Schl. 23 | 0,182                   | PVC 063 Schl. 24 | 0,146                   |
| PVC 043 Schl. 25 | 0,128                   | PVC 064 Schl. 20 | 0,163                   |
| PVC 045 Schl. 21 | 0,118                   | PVC 065 Schl. 18 | 0,196                   |
| PVC 046 Schl. 24 | 0,170                   | PVC 066 Schl. 20 | 0,148                   |
| PVC 047 Schl. 24 | 0,129                   | $\bar{x}$        | 0,157                   |
| PVC 048 Schl. 26 | 0,138                   | KS1              | 0,108                   |
| PVC 049 Schl. 23 | 0,167                   | KS2              | 0,142                   |

|                  |       |      |       |
|------------------|-------|------|-------|
| PVC 050 Schl. 17 | 0,137 | Bio1 | 0,172 |
| PVC 052 Schl. 23 | 0,112 | Bio2 | 0,167 |
| PVC 055 Schl. 23 | 0,139 | MGS1 | 0,103 |
| PCV 056 Schl. 21 | 0,351 | MGS2 | 0,132 |

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden auf drei Nachkommastellen gerundet. Der arithmetische Mittelwert des Bindegewebeisweißgehaltes für die Sattelschwein-Kohorte beträgt 0,157 % und der Median 0,145 %. Die Standardabweichung liegt bei 0,047 %. Aus dem Maximum von 0,351 % (PVC 056) und dem Minimum 0,110 % (PVC 059) ergibt sich eine Spannweite von insgesamt 0,241 %.

Folgendes Boxplot zeigt die visuelle Verteilung des Bindegewebeisweißes der Sattelschwein- (links) und der gemischten Kohorte (rechts) in Prozent:

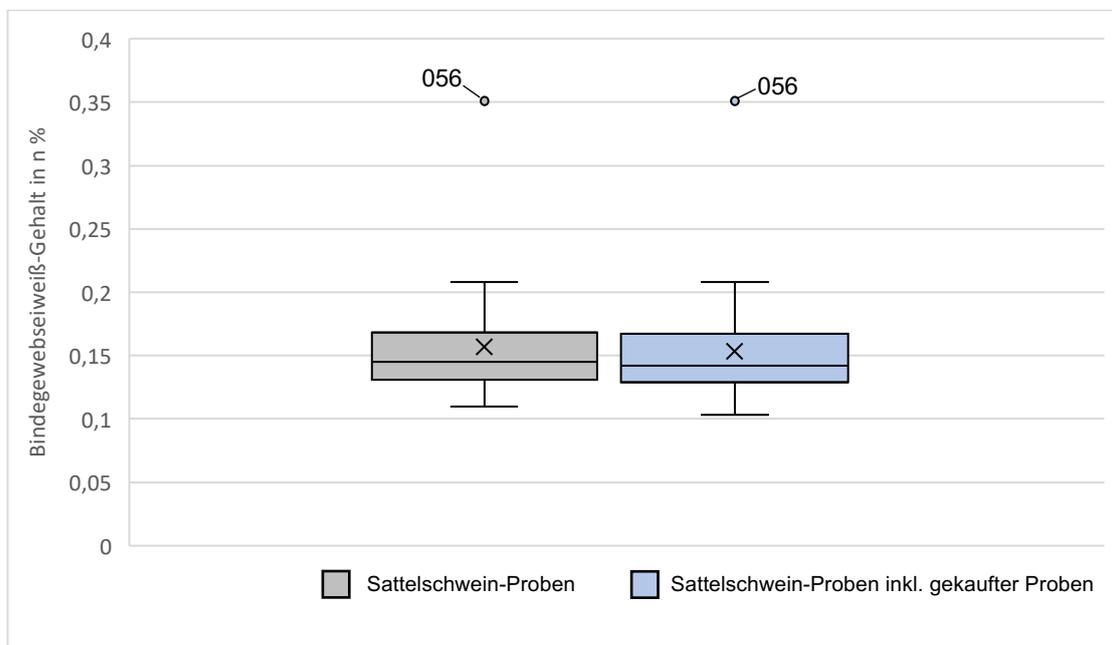


Abbildung 6: Boxplot-Diagramm für den Bindegewebeisweißgehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts)

Aus diesem Boxplot-Diagramm ließen sich folgende Kennzahlen ablesen, dargestellt in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 10: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den Bindegewebeisweißgehalt

| Kennzahl              | Sattelschwein-Proben in % | Gemischte Kohorte in % |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| Arithmetisches Mittel | 0,157                     | 0,153                  |
| Median                | 0,145                     | 0,142                  |
| Maximum               | 0,351                     | 0,351                  |
| Minimum               | 0,110                     | 0,103                  |

|                |       |       |
|----------------|-------|-------|
| Q1             | 0,131 | 0,129 |
| Q3             | 0,169 | 0,167 |
| IQA            | 0,038 | 0,038 |
| 1,5-facher IQA | 0,056 | 0,057 |
| OA             | 0,225 | 0,224 |
| UA             | 0,075 | 0,072 |

errechnet nach Bortz & Schuster, 2016, S. 44-45

Bei beiden Kohorten stellt die Probe PVC 056 mit 0,351 % einen oberen Ausreißerpunkt dar.

Im Folgenden sind die berechneten 95 % - Konfidenzintervalle dargestellt. Dies erfolgte unter den bereits aufgeführten Voraussetzungen und nach demselben Prinzip:

95 % - KI der Sattelschwein-Kohorte:

$$KI = 0,157 \pm 1,96 \cdot \frac{0,047}{\sqrt{27}}$$

[0,139; 0,175]

95 % - KI der gemischten Kohorte:

$$KI = 0,153 \pm 1,96 \cdot \frac{0,044}{\sqrt{33}}$$

[0,137; 0,168]

nach Grabinger, 2018, S. 412-413

Im Falle der Sattelschwein-Kohorte (links) fallen die Probennummern PVC 014, 019, 020, 021, 022, 043, 045, 047, 048, 050, 052, 056, 059, 061, 065 und die Referenzproben MGS2, KS1 und MGS1 nicht in das Konfidenzintervall, für die gemischte Kohorte (rechts) PVC 005, 014, 019, 020, 021, 022, 043, 045, 046, 047, 052, 056, 059, 061, 065 und Bio 1, MGS2, KS1 und MGS1.

## 6.4 BEFFE-Gehalt

Das letzte zu ermittelnde Fleischqualitätsmerkmal, das BEFFE, ergibt sich rechnerisch aus den bisher aufgeführten Ergebnissen. Verwendet wurden die gerundeten Ergebnisse aus den oberen Tabellen. In folgender Tabelle sind die BEFFE-Gehalte in Prozent für die Sattelschwein-Proben und die gekauften Referenzwerte dargestellt.

Tabelle 11: Tabellarische Darstellung der aus den Rohprotein- und Hydroxyprolingehalten berechnete BEFFE-Gehalt in % für das Sattelschweiffleisch und die gekauften Proben sortiert nach Probennummern

| Probennummer     | BEFFE in % | Probennummer     | BEFFE in % |
|------------------|------------|------------------|------------|
| PVC 005 Schl. 22 | 25,36      | PVC 057 Schl. 26 | 25,41      |
| PVC 006 Schl. 27 | 24,96      | PVC 058 Schl. 27 | 25,35      |
| PVC 014 Schl. 25 | 26,65      | PVC 059 Schl. 25 | 26,18      |
| PVC 019 Schl. 26 | 25,75      | PVC 060 Schl. 19 | 25,94      |
| PVC 020 Schl. 25 | 24,85      | PVC 061 Schl. 24 | 22,54      |

|                  |       |                  |       |
|------------------|-------|------------------|-------|
| PVC 021 Schl. 22 | 26,36 | PVC 062 Schl. 22 | 26,82 |
| PVC 022 Schl. 23 | 25,64 | PVC 063 Schl. 24 | 26,59 |
| PVC 043 Schl. 25 | 28,30 | PVC 064 Schl. 20 | 23,24 |
| PVC 045 Schl. 21 | 25,43 | PVC 065 Schl. 18 | 22,27 |
| PVC 046 Schl. 24 | 27,04 | PVC 066 Schl. 20 | 26,38 |
| PVC 047 Schl. 24 | 26,54 | $\bar{x}$        | 25,80 |
| PVC 048 Schl. 26 | 26,73 | KS1              | 25,07 |
| PVC 049 Schl. 23 | 26,27 | KS2              | 25,43 |
| PVC 050 Schl. 17 | 25,45 | Bio1             | 24,02 |
| PVC 052 Schl. 23 | 26,96 | Bio2             | 22,31 |
| PVC 055 Schl. 23 | 26,12 | MGS1             | 25,15 |
| PCV 056 Schl. 21 | 27,42 | MGS2             | 25,84 |

Aus den hier aufgeführten Daten, gerundet auf zwei Nachkommastellen, ergaben sich für die Sattelschwein-Kohorte ein arithmetischer Mittelwert von 25,80 % und ein Median von 26,12 %. Das Maximum wurde bestimmt in Probe PVC 043 mit 28,30 % und das Minimum in Probe PVC 065 mit 22,27 %. Die Spannweite der Ergebnisse liegt somit bei 6,03 %. Die errechnete Standardabweichung beträgt außerdem 1,37 %.

Um diesen Sachverhalt in komprimierter Form betrachten zu können, wurde ebenfalls ein entsprechendes Boxplot-Diagramm erstellt. Gegenübergestellt sind die Sattelschwein- (links) und die gemischte Kohorte (rechts) in Prozent:

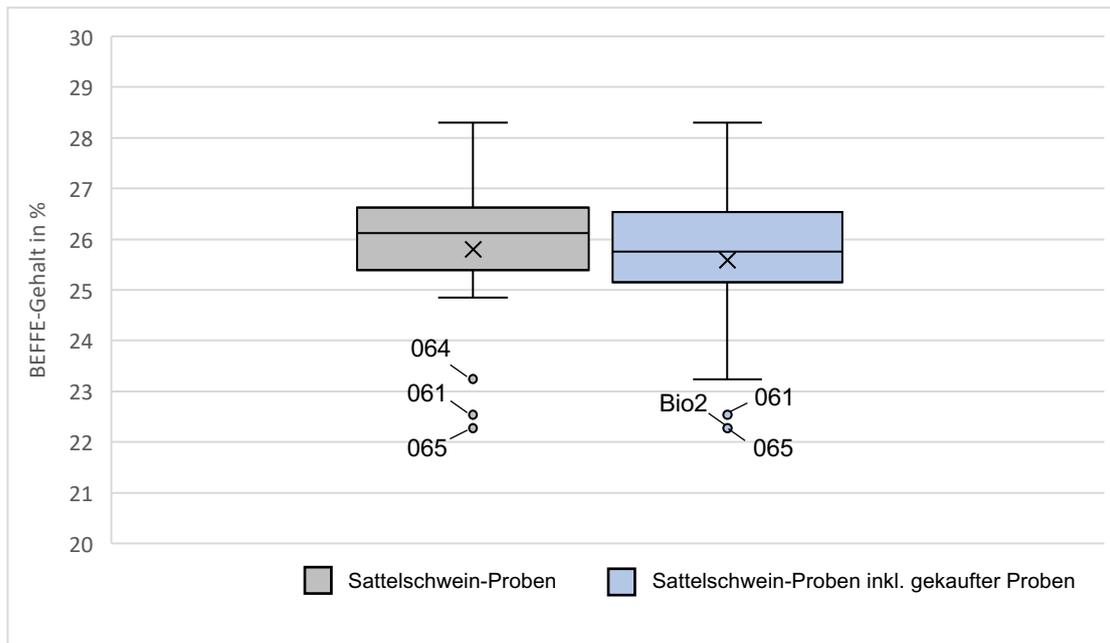


Abbildung 7: Boxplot-Diagramm für den BEFFE-Gehalt in % der Sattelschwein-Proben (links) und der Kohorte aus Sattelschwein-Proben und gekauften Proben (rechts)

Folgende Kennzahlen lassen sich aus dem Boxplot ablesen und sind zur Gegenüberstellung in nachfolgender Tabelle aufgeführt:

Tabelle 12: Auflistung der Kennzahlen aus dem Boxplot-Diagramm für den BEFFE-Gehalt

| Parameter             | Sattelschwein-Proben in % | Gemischte Kohorte in % |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| Arithmetisches Mittel | 25,80                     | 25,59                  |
| Median                | 26,12                     | 25,75                  |
| Maximum               | 28,30                     | 28,30                  |
| Minimum               | 22,27                     | 22,27                  |
| Q1                    | 25,39                     | 25,15                  |
| Q3                    | 26,62                     | 26,54                  |
| IQA                   | 1,24                      | 1,39                   |
| 1,5-facher IQA        | 1,85                      | 2,09                   |
| OA                    | 28,47                     | 28,63                  |
| UA                    | 23,53                     | 23,07                  |

errechnet nach Bortz & Schuster, 2016, S. 44-45

Für die Sattelschwein-Kohorte ergibt dies die unteren Ausreißerpunkte PVC 061, 064 und 065. Bio 2 wäre ebenfalls unterhalb der UA. Für die gemischte Kohorte ist dies nur der Fall bei den Proben PVC 061, 065 und Bio2.

Für den BEFFE-Gehalt wurden ebenfalls die 95 % - Konfidenzintervalle berechnet. Auch an dieser Stelle wird mit den vorherigen gerundeten Kennzahlen weitergerechnet und davon ausgegangen, dass es sich um eine Normalverteilung handelt:

95 % - KI der Sattelschwein-Kohorte:

$$KI = 25,80 \pm 1,96 \cdot \frac{1,37}{\sqrt{27}}$$

[25,28; 26,32]

95 % - KI der gemischten Kohorte:

$$KI = 25,59 \pm 1,96 \cdot \frac{1,41}{\sqrt{33}}$$

[25,11; 26,07]

nach Grabinger, 2018, S. 412-413

Im Falle des linken Konfidenzintervalls liegen folgende Proben außerhalb: PVC 006, 014, 020, 021, 043, 046, 047, 048, 052, 056, 061, 062, 063, 064, 065, 066 und die Referenzproben MGS1, KS1, Bio1 und Bio2; für das gemischte Konfidenzintervall (rechts): PVC 006, 014, 020, 021, 043, 046, 047, 048, 049, 052, 055, 056, 059, 061, 062, 063, 064, 065, 066 und KS1, Bio1 und Bio2.

## 7 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, alle notwendigen Parameter für und inklusive des Fleischqualitätsparameters BEFFE experimentell im Rahmen des Projektes der OG PERSA zu bestimmen. Zum Erhalt der alten Nutztierschweinerasse soll untersucht werden, inwiefern Sattelschweinfleisch im Hinblick auf seine Eiweißzusammensetzung konkurrenzfähig ist. Mittels evidenzbasierter Parameter und anderen im Projekt untersuchten Aspekten zu Haltung, Futtermittelverwertung und Ähnlichem könnte daraus dann ggfs. die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es durchaus attraktiv ist, die Rassegruppe des Sattelschweins weiterhin zu fördern und zu erhalten. Im Rahmen dieser Arbeit geht es vorrangig darum, durch Betrachtung der Eiweißzusammensetzung, die Preisfindung und die Attraktivität des Fleisches zu begünstigen (OG PERSA, 2021, S. 4-8). In den folgenden Abschnitten sollen die bereits aufgeführten Ergebnisse der experimentellen Bestimmung und weiteren Auswertung in Kontext und in das Projekt eingeordnet werden. Um v.a. die Methoden und auch das neue Verfahren nach dem Test-Kit von Sigma-Aldrich kritisch zu reflektieren und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse zu berücksichtigen, wird zunächst ein Methoden-Diskussionskapitel folgen und anschließend auf die Ergebnisse eingegangen.

### 7.1 Methodendiskussion

#### 7.1.1 Probenvorbereitung und -lagerung

Der Aspekt Probenvorbereitung, hier vorrangig die Homogenisierung des Fleisches, spielt im Rahmen einer Zusammensetzungsanalyse eine entsprechend entscheidende Rolle. Fleisch bzw. Fleischwaren sind inhomogene Substanzen, weshalb eine Probe, die zur Zusammensetzungsanalyse genutzt

wird und somit die Gesamtmenge repräsentieren soll, möglichst einwandfrei und ordentlich homogenisiert sein sollte. Aufgrund verschiedener Einflüsse und Aspekte stellt der Prozess der Homogenisierung somit eine potenzielle, ggfs. maßgebliche Fehlerquelle dar (Schmidhofer, 1966). Bei der vorliegenden Arbeit wurde das Sattelschweinfleisch bereits im Vorfeld von anderen Projektteilnehmern möglichst sorgfältig vom Auflagefett getrennt und, wie im Methodenteil beschrieben, homogenisiert. Es ist nicht auszuschließen, dass es hier zu einer nicht ausreichenden oder fehlerhaften Homogenisierung gekommen ist. Durch etwaiges Erhitzen bei Benutzung der Zerkleinerungsfunktion des Mixers kann es zu einer Teil-Denaturierung der Eiweiße gekommen sein, was die Ergebnisse beeinflusst hätte. Tatsächlich wiesen die vorliegenden Proben Unterschiede in Bezug auf Konsistenz und Farbe auf, was für eine nicht einwandfreie Homogenisierung sprechen würde. Da sich dies rückwirkend nicht mehr aufheben ließ, musste von einer ausreichenden Probenvorbereitung ausgegangen und damit fortgefahren werden. Zur Aufdeckung solcher Fehler wurde, insofern es möglich war, eine Doppelbestimmung durchgeführt (Schmidhofer, 1966). Aufgrund beschränkter Materialien beim Hydroxyprolin-Test-Kit wurde jede Probe jedoch nur einmal eingewogen und anschließend doppelt mit den jeweiligen Reagenzien versetzt und photometrisch gemessen.

In Bezug auf die recht lange Lagerung der Proben sei an dieser Stelle ebenfalls noch erwähnt, dass die Proben jeweils mehrfach aufgetaut und wieder eingefroren werden mussten. Vor Versuchsbeginn wurden die Proben rechtzeitig aus dem Tiefkühlschrank entnommen, um anschließend in einem Kühlschrank aufzutauen. Die Lagerbehältnisse aus Plastik hatten keinen wieder verschließbaren Deckel, weshalb die Proben nach der ersten Nutzung nicht mehr luftverschlossen aufbewahrt werden konnten. Die gesamte Lagerung kann somit durch die häufigen und ggfs. längeren Kontakte mit z.B. Sauerstoff zu einer nachteiligen Beeinflussung der Zusammensetzung und somit auch der Ergebnisse beigetragen haben.

Allgemein lässt sich sagen, dass nicht auszuschließen ist, dass die Ergebnisse durch eine nachteilige Probenvorbereitung und -lagerung ggfs. negativ beeinflusst wurden. Die Lagerung und die ggfs. zu starke Erhitzung während der Homogenisierung könnten die Eiweißgehalte beeinflusst haben. Die eventuell nicht vollständige bzw. ausreichende Homogenisierung könnte dazu geführt haben, dass die Ergebnisse nicht die Gesamtmenge repräsentieren. Bei zukünftigen, vergleichbaren Arbeiten oder auch weiteren Untersuchungen für das Projekt der OG PERSA sollte daher auf eine noch sorgfältigere Vorbereitung, Homogenisierung und Lagerung der Proben geachtet werden, um nachteilige Beeinflussungen bestmöglich zu verhindern.

## 7.1.2 Photometrische Bestimmung von Hydroxyprolin

Das Verfahren der photometrischen Hydroxyprolin-Bestimmung ist zwar nach der ASU ausgewählt worden, wurde aber zur Testung einer neuen Versuchsdurchführung, die einige Vorteile mit sich zu bringen scheint, gemäß des Test-Kits von Sigma-Aldrich durchgeführt. Bei Betrachtung und Diskussion dieser Methode wird differenziert zwischen Aspekten, die an der Durchführung des Test-Kits an sich als kritisch zu betrachten sind, und Parametern, die aufgrund gegebener Umstände nicht den Vorgaben des Kits entsprochen haben.

Allgemein lässt sich sagen, dass das Vorgehen nach dem Test-Kit vor allem einen Zeit- und Materialaufwand gegenüber der ASU-Durchführung hat. Die Hydrolyse nimmt beim Test-Kit drei bzw. vier Stunden in Anspruch, während die ASU-Durchführung etwa acht Stunden dauert. Beim ASU-Vorgehen wird außerdem eine größere Bandbreite an Chemikalien benötigt (z.B. Petrolether, Natrium-ethylmercurithiosalicylat oder Citronensäure-Monohydrat). Da auch eine größere Probeneinwaage verwendet wird (2 g bei der ASU, 10 mg beim Test-Kit), muss auch eine größere Menge von diesen verwendet werden. Statt z.B. 100  $\mu\text{L}$  Salzsäure werden bei der ASU-Anweisung 30 mL Salzsäure pro Probe benötigt. Das Vorgehen nach der ASU wirkt somit allgemein zeit- und materialaufwendiger. Beim benötigten Equipment ähneln sich die beiden Vorgehensweisen (L 06.00-8 ASU; Sigma-Aldrich, 2021, S. 1-2).

In weiteren, zu betrachtenden Aspekten scheint jedoch die ASU-Durchführung dem Test-Kit überlegen zu sein. Beim Test-Kit soll z.B. mit einer 37 %-igen Salzsäure gearbeitet werden, während die ASU lediglich eine ca. 22 %-ige Konzentration voraussetzt. Dies ist aus arbeitssicherheitstechnischen Gründen und auch in Bezug auf den Aufwand (z.B. Reinigung des Abzugs) durchaus relevant. Vor allem aufgrund des ersten Arguments wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht mit einer Konzentration der Salzsäure von 37 % sondern 32 % gearbeitet. Aufgrund der niedriger als geforderten Konzentration ist nicht auszuschließen, dass die Hydrolyse des Fleisches, sprich die Auftrennung der Aminosäuren-Ketten, nicht vollständig stattgefunden hat. Dies würde bedeuten, dass die Ergebnisse der Hydroxyprolin- und somit der Bindegewebeiseiweiß-Bestimmung geringer als in Wahrheit vorliegend ausgefallen sind. Hinzukommend ist außerdem die Tatsache, dass der vorhandene Heizblock lediglich eine Temperatur von 100° C statt den geforderten 120° C erreichen konnte. Auch dieser Temperaturunterschied könnte zu einer nicht vollständigen Hydrolyse beigetragen haben. Die niedrigen Ergebnisse beider Parameter würden dafürsprechen. Mit einer Erhöhung der Dauer (vier statt drei Stunden) wurde versucht, dem ggfs. etwas entgegenzuwirken. Allerdings musste ebenfalls von der vorgegebenen Wellenlänge 558 bzw. 560 nm abgewichen werden, da nur ein Spektrometer mit einem Filter von 570 nm zur Verfügung stand. Mit dieser Wellenlänge wurden dann sowohl die Standardkurven gemessen und verrechnet als auch die Proben-Ergebnisse, weshalb es diesbezüglich

keinen Unterschied gab. Dennoch muss natürlich beachtet werden, dass das Absorptionsmaximum daneben liegen würde und somit auch etwas höhere Ergebnisse zu erwarten wären (L 06.00-8 ASU; Sigma-Aldrich, 2021, S. 1-2). Da diese Aspekte bereits im Vorhinein deutlich und nicht veränderbar waren, konnten und mussten diese so akzeptiert werden.

An dieser Stelle sei ebenfalls erwähnt, dass beim Test-Kit mit Mengen im Mikroliter-Bereich pipettiert wird. Es ist daher möglich, dass auch Pipettierschwächen zu einer Beeinflussung bzw. Abweichung der Ergebnisse beigetragen haben könnten. Dazu zählen z.B. die Bläschen-Bildung in und an der Pipette, die kleinen Einstülpungen der 96-Well-Platte oder die menschliche Ausführung (Sigma-Aldrich, 2021, S. 2).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Theorie und das Konzept der photometrischen Hydroxyprolin-Bestimmung nach dem Test-Kit von Sigma-Aldrich definitiv seine Vorzüge gegenüber der herkömmlichen Durchführung zu haben scheint. Dazu zählen u.a. der zeitliche und Materialbezogene Aufwand. Die Verwendung des Kits fordert jedoch ein besonderes Handling z.B. in Bezug auf das Pipettieren und den Umgang mit rauchender Salzsäure. Es wird außerdem spezifisches Equipment vorausgesetzt, weshalb eine Etablierung im Labor sowohl in Bezug auf das Material als auch das Personal für eine Nutzung unabdingbar wäre. Für das vorliegende Projekt wäre es optimal, eine weitere Bestimmung des Hydroxyprolingehaltes z.B. nach der ASU durchzuführen, um die Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

### 7.1.3 Kjeldahl-Methode zur Bestimmung des Rohproteingehaltes

Ebenso wie die photometrische Hydroxyprolin-Bestimmung wird auch die Kjeldahl-Methode zur Ermittlung des Rohproteingehaltes von der ASU als geeignetes Verfahren empfohlen (L 06.00-7 ASU). Gemäß der im genutzten Labor verfügbaren Geräte und Erfahrungswerte wurde das dort gängige Verfahren durchgeführt, weshalb es zu Abweichungen im Vergleich zum Verfahren nach der ASU kommt. Diese Unterschiede sollten jedoch keine nachteiligen Auswirkungen auf die Ergebnisse der Eiweiß-Bestimmung haben. Im Allgemeinen handelt es sich bei der Kjeldahl-Methode um ein in der Literatur, von der Praxis und ASU bestätigtes, gängiges Verfahren, das zuverlässig den Rohproteingehalt ermittelt (L 06.00-7 ASU; Matissek & Fischer, 2021, S. 478; Technische Universität Dresden, o.J., S. 12). Dennoch gibt es auch bei dieser Methode Aspekte, die in Bezug auf die Handhabbarkeit zu beachten sind. Zum Beispiel erfordert sie entsprechendes, spezifisches Equipment (z.B. die Aufschlussapparatur), welches eine gewisse Einweisung benötigt. Insofern dies vorhanden ist, lässt sich die Methode zuverlässig und unkompliziert durchführen.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Methode einen hohen Chemikalien-Verbrauch hat, einige Stunden in Anspruch nimmt und vor allem in Bezug auf die Schwefelsäure auch nicht ungefährlich ist (HAW Hamburg: Department ÖT, 2021, S. 32-34). Insbesondere im Rahmen der Titration muss auch sehr genau gearbeitet werden, da sich der genaue Salzsäureverbrauch und somit auch der Rohproteingehalt rückwirkend nicht mehr genau ermitteln lassen, sobald die Lösung übertitriert ist. Eine weitere für die Einordnung der Ergebnisse relevante Abweichung vom Real-Gehalt sind außerdem die natürlich enthaltenden Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen. Sie werden nicht differenziert und führen somit ggfs. zu einem vorgetäuscht höheren Eiweißgehalt (Matissek & Fischer, 2021, S. 479).

Zusammenfassend hat diese Methode für den in dieser Arbeit zu ermittelnden Parameter ihren Zweck zuverlässig erfüllt. Da das Verfahren nach der internen Laborordnung bereits über Jahre hinweg durchgeführt und bestätigt wurde, gibt es keine konkreten Anhaltspunkte für Verbesserung. Es besteht allerdings die Möglichkeit, in Zukunft auszuprobieren, ob die innerhalb der Kjeldahl-Methode aufgeschlossenen Proben auch für die Hydroxyprolin-Bestimmung mittels des Kits verwendet werden könnten, um Ressourcen zu sparen.

## 7.2 Ergebnisdiskussion

### 7.2.1 Hydroxyprolin- und Bindegewebeseiweißgehalt

Aufgrund der Zusammengehörigkeit der Parameter werden der Hydroxyprolin- und Bindegewebeseiweißgehalt im folgenden Kapitel gemeinsam betrachtet. Die experimentell bestimmten Ergebnisse beider Parameter lassen sich im Allgemeinen als gering, innerhalb der Charge bis auf einen Ausreißer (PVC 056) jedoch als konsistent einordnen. Je nach Quelle gibt die Literatur einen Bindegewebeseiweißgehalt (zusammen mit den Mitochondrienproteinen) von ca. 3 % an der Gesamtzusammensetzung vor (Rimbach et al., 2010, S. 83). Bei der Annahme von 3 % reinem Bindegewebeseiweiß würde dies rechnerisch einem Hydroxyprolinegehalt von 0,375 % entsprechen. In der ASU aufgeführte Ringversuche haben für verschiedenste Fleischpartien geringere Gehalte zwischen 0,0913 und 0,3024 % Hydroxyprolin bzw. rechnerisch 0,7304 und 2,4192 % Bindegewebeseiweiß ergeben (L 06.00-8 ASU). In beiden Fällen liegen die Werte deutlich über dem Mittelwert der hier betrachteten Sattelschweinproben mit 0,01960 % Hydroxyprolin bzw. 0,157 % Bindegewebeseiweiß. Da der eine Literaturwert den Durchschnitt und der andere den Gehalt von anderen Fleischpartien und ggfs. anderen -sorten repräsentiert, sollte nicht automatisch von einer fehlerhaften Bestimmung ausgegangen werden. Die Literaturlage zu Bindegewebeseiweiß allgemein und vor allem für Koteletts oder vergleichbare Fleischpartien alter Haustierschweinerassen ist nicht ausgeprägt und aktuell.

Eine weitere experimentelle Arbeit hat mittels Nahinfrarotspektroskopie u.a. ebenfalls den Bindegewebeseiweißgehalt bei verschiedenen Fleischpartien des Schweins (Speck, Bauch, stark

bindegewebehaltige Partien, ausgelöste Schulter) bestimmt. Es wurden tatsächlich ebenfalls geringere Bindegewebeiseiweißgehalte von z.B. 0,13 % ermittelt, was sich größtenteils gut mit den hier ermittelten Werten vergleichen ließe. Aufgrund der abweichenden Methode und Fleischpartien ist der Vergleich eingeschränkt, zeigt aber auf, dass auch andere Arbeiten verhältnismäßig geringe Bindegewebs- bzw. Hydroxyprolinegehalte bestimmt haben. Die angesprochene Arbeit hat allerdings im Rahmen einer nasschemischen Untersuchung auch noch höhere Gehalte für die selbigen Parameter bestimmen können und diese Methode aufgrund ihrer höheren Genauigkeit auch empfohlen (Hohenester, 2006, S. 86, 133, 137-140). Es ist somit nicht auszuschließen, dass die hier verwendete Methode tatsächlich nicht den wahren, sondern einen geringeren Gehalt an Hydroxyprolin ermittelt haben könnte, ebenso, wie es in der zitierten Arbeit der Fall war. Hinzu kommen schließlich die in der Methodendiskussion angesprochenen Aspekte, die zu einer Herabsetzung der Ergebnisse geführt haben könnten. Dennoch sollte nicht missachtet werden, dass das hier betrachtete Kotelett als Fleischpartie, welches definiert ist, als entnommenes Element aus der rückseitigen Stamm-Muskulatur des Schweins, ein Bindegewebeiseiweiß-ärmeres Teilstück darstellt und niedrigere Ergebnisse somit auch zu erwarten waren (2.1.1.4 LFFE). Die lässt sich, wie im theoretischen Hintergrund erläutert, dadurch erklären, dass BEFFE vorrangig im Muskelfleisch vorkommt. Wenn nun ein vergleichsweise muskelfleischreiches Fleischstück betrachtet wird, muss folglich der Bindegewebeiseiweißgehalt gering(er) sein (Lobitz et al., 2015, S. 48; Rimbach et al., 2010, S. 84). Die Ergebnisse sind daher als gering einzustufen, sollten aber der Logik entsprechend auch nicht verhältnismäßig hoch sein.

Unabhängig von der Einordnung der Werte lässt sich zusätzlich erwähnen, dass die statistische Betrachtung der Ergebnisse beider Parameter indiziert, dass die Einbeziehung der gekauften Fleischproben keine wirklichen Veränderungen der statistischen Kennzahlen, der Boxplots oder auch der Konfidenzintervalle zu bewirken scheint. Die Boxen weisen in beiden Fällen z.B. eine ähnliche Breite und gering voneinander abweichende Mittel- und Median-Werte auf. Bei den Konfidenzintervallen unterscheiden sich die Grenzen erst ab den hinteren Nachkommastellen. An dieser Stelle ist allerdings zu erwähnen, dass die Konfidenzintervalle unter Annahme einer Normalverteilung errechnet worden sind. Die Tatsache, dass aber so viele Werte aus den Konfidenzintervallen ausgeschlossen werden mussten, zeigt auf, dass es sich in der Tat um keine Normalverteilung handelt und die Interpretation der Konfidenzintervalle daher nur schwache Indizien und Erkenntnisse liefern kann. Dennoch lässt sich vorsichtig formuliert zusammenfassen, dass impliziert ist, dass die Werte von herkömmlich gekauftem und denen von Sattelschweinfleisch so nah beieinander liegen, dass bei Einbeziehung aller hier vorliegenden Ergebnisse keine massive Differenz im Vergleich zur Betrachtung von nur den Sattelschweinproben zu verzeichnen ist. Es kann also geschlussfolgert werden, dass es keinen massiven Unterschied zwischen dem Sattelschweinfleisch und den gekauften Proben in Bezug auf den Parameter Hydroxyprolin- bzw. Bindegewebeiseiweißgehalt zu geben scheint, da die

Miteinbeziehung der gekauften Werte, weder eine wesentliche Herabsetzung noch eine Erhöhung der statistischen Kennzahlen bewirkt. Diese Aussagen ließen sich bei einer größeren Stichprobe von gekauftem Fleisch, wenn dies die gleichen Ergebnisse aufzeigen würde, noch verstärken und einen sauberen statistischen Vergleich der beiden Teilstichproben ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier bestimmten Ergebnisse für den Hydroxyprolin- und Bindegewebeseiweißgehalt zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht vollkommen der Realität entsprechen, aber einen ersten Richtwert und einen Vergleich zu herkömmlich gekauftem Schweinefleisch darstellen. Es handelt sich um niedrige Gehalte, die in Hinblick auf das Projekt und dessen Bezug zur Thematik Fleischqualität von Sattelschweinefleisch als positiv einzuordnen sind, da wenig des qualitätsärmeren Bestandteils Bindegewebe vorhanden zu sein scheint (Lobitz et al., 2015, S. 48; Rimbach et al., 2010, S. 84).

### 7.2.2 Rohproteingehalt

Die Ergebnisse der nach Kjeldahl bestimmten Rohproteingehalte für das Sattelschweinefleisch sind allgemein als hoch einzustufen. Die Literatur gibt je nach Quelle einen durchschnittlichen Gehalt von ca. 20 % Eiweiß an. Je nach betrachteter Fleischpartie und -sorte schwankt dieser Gehalt, sodass z.B. ein Kotelett durchschnittlich ca. 21,6 % Eiweiß enthält (Rimbach et al., 2010, S. 82-83). Der hier bestimmte Mittelwert der Sattelschweinproben beträgt sogar 25,96 % Gesamteiweiß und liegt somit noch einmal vier bzw. fünf Prozentpunkte über den angegebenen Literaturwerten. Die gekauften Referenzproben lagen größtenteils ebenfalls darüber. Wie in der Diskussion zur hier verwendeten Methode beschrieben, gab es neben den Aspekten der eventuell unreinen Homogenisierung, die bewirken würde, dass die Probe eine nicht einwandfreie Stichprobe der Gesamtheit darstellen könnte, und der Nicht-Eiweiß-Stickstoffverbindungen, keinen Aspekt an der Kjeldahl-Methode, der die Ergebnisse drastisch beeinflusst haben dürfte (Matissek & Fischer, 2021, S. 479; Schmidhofer, 1966). Es ist somit davon auszugehen, dass die Werte die Realität gut wiedergeben sollten und die Sattelschweinproben somit über hohe Rohproteingehalte verfügen dürften. Da die entnommene Fleischpartie aufgrund ihres Muskelgehaltes und der Abtrennung des Auflagefettes auch eiweißreich sein sollte, ergeben die hier bestimmten Gehalte Sinn (2.1.1.4 LFFE; Lobitz et al., 2015, S. 48, 66; Rimbach et al., 2010, S. 84).

Die statistische Auswertung hat in diesem Falle außerdem ergeben, dass die Einbeziehung der gekauften Proben größere Auswirkungen zu haben scheint als bei Betrachtung der vorherigen Parameter. Das Boxplot-Diagramm zeigt bei der gemischten Kohorte z.B. eine etwas nach unten versetzte Box mit längeren Antennen. Auch der Median und der Mittelwert liegen unter den Ergebnissen der reinen Sattelschwein-Kohorte. Dies impliziert, dass die Einbeziehung der gekauften Werte eine Herabsetzung der Kennzahlen für den Rohproteingehalt hervorruft bzw. eine größere Streuung der Werte

vorliegt. Das Konfidenzintervall ist ebenfalls etwas nach unten verschoben, wobei auch an dieser Stelle wieder nur vorsichtige Schlüsse gezogen werden sollten. Dennoch ist leicht indiziert, dass die die gekauften Proben die Kennzahlen nach unten verschieben und daher geschlussfolgert werden könnte, dass das Sattelschweinfleisch gemäß dieser Untersuchung mehr Rohprotein aufweist. Dies könnte im Rahmen des Projektes ein attraktives Argument darstellen. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch, dass die Stichprobengröße der gekauften Proben zu klein und in ihrer Zusammensetzung auch inhomogen ist, da Fleisch unterschiedlicher Haltungsstufen verwendet wurde.

Es lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Rohproteingehalte als hoch und somit generell als positiv einzuordnen sind. Es sollte nach wie vor jedoch berücksichtigt werden, dass das tatsächliche Fleischqualitätskriterium in diesem Kontext der BEFFE-Gehalt ist, da er nur die hochwertigeren Bestandteile berücksichtigt (Lobitz et al., 2015, S. 48; Rimbach et al., 2010, S. 84). Dessen Betrachtung erfolgt daher im nächsten Kapitel.

### 7.2.3 BEFFE-Gehalt

Da die Ergebnisse für den Rohprotein- und Bindegewebeseiweißgehalt hohe bzw. niedrige Gehalte ergeben haben, führt dies in der Differenz zu hohen, als positiv einzustufenden BEFFE-Gehalten. Der Mittelwert liegt bei den Sattelschweinproben bei 25,80 %. Durchschnittlich und für ein Kotelett werden in der Literatur Werte von 20 bzw. 21,6 % für den Gesamteiweißgehalt angegeben (Rimbach et al., 2010, S. 82-83). In der bereits erwähnten Arbeit sind nach der empfohlenen nasschemischen Analyse BEFFE-Gehalte zwischen 11,1 und 21,5 % (je nach betrachteter Fleischpartie) bestimmt worden (Hohenester, 2006, S. 139-140). Die Literaturangaben liegen somit unter den hier ermittelten Werten. Bei Einordnung der Ergebnisse ist jedoch nach wie vor nicht zu vernachlässigen, dass die Genauigkeit der BEFFE-Bestimmung auch von der Ermittlung des Hydroxyprolinegehaltes abhängt (Benger et al., 1969). Für den Fall, dass die tatsächlichen Bindegewebeseiweißgehalte also doch höher sind als bestimmt (z.B. ca. 3 %), würde dies den Endwert der BEFFE-Gehalte entsprechend herabsetzen. Abgeleitet aus dem Mittelwert von 25,80 % würde sich so theoretisch ein Gehalt von ca. 22,80 % ergeben. Der in der Literatur angegebene durchschnittliche Gesamtgehalt an Eiweiß liegt weiterhin darunter. In der Literatur liegen jedoch keine konkreten Referenzwerte für den BEFFE-Gehalt von Koteletts allgemein oder auch von einer vergleichbaren alten Rassegruppe wie dem Sattelschwein vor. Gemäß der hier betrachteten muskelfleischreichen Fleischpartie und den vorherigen Erläuterungen sind hohe Gehalte aber zu erwarten gewesen.

Aus den Erkenntnissen der vorherigen Parameter und der statistischen Auswertung der BEFFE-Gehalte lassen sich außerdem folgende Schlüsse ziehen. Da die Rohproteinbestimmung hohe Gehalte ergeben hat und es teilweise sogar Indizien dafür gibt, dass sie über denen des gekauften Fleisches liegen, während die Bindegewebeseiweißgehalte eher niedrig und zwischen den Gruppen recht

ähnlich sind, ergibt dies im Allgemeinen das Bild, dass die BEFFE-Gehalte beim Sattelschweinfleisch gemäß der statistischen Kennzahlen aus der reinen Kohorte tendenziell etwas höher als die des herkömmlich gekauften Fleisches zu sein scheinen. Die Box inklusiver ihrer Antennen und somit auch Median und Mittelwert sind etwas herabgesetzt im Vergleich zum Boxplot der Sattelschweinkohorte. Ebenso sind auch die Grenzen des Konfidenzintervalls niedriger.

Abschließend lässt sich daher sagen, dass die Bestimmung des Parameters BEFFE für Sattelschweinfleisch hohe Gehalte ergeben hat, die für eine hohe bzw. mindestens vergleichbare Qualität des Fleisches aus dieser Perspektive sprechen.

### 7.3 Leistung und Beitrag der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat gemäß der Fragestellung und dem eingegliederten Projekt der OG PERSA die Parameter der Eiweißzusammensetzung für das Sattelschwein ermittelt. Auch wenn es in der Realität eventuelle Abweichungen gibt, stellen die Werte eine erste Referenz für den Gehalt an Hydroxyprolin, Rohprotein, Bindegewebeseiweiß und BEFFE für die alte Haustierschweinsrasse, für die es bis jetzt noch keine verfügbaren Daten gab, dar. Die vorliegenden Werte sind in Hinblick auf ihre Bedeutung für die Fleischqualität als positiv einzuordnen, da verglichen mit Literaturwerten hohe bzw. niedrige Gehalte festgestellt worden sind. Die vorliegende Arbeit kann unter Berücksichtigung der bestehenden Limitationen einen Beitrag geleistet haben, der aufzeigt, dass die Fleischqualität des Sattelschweinfleisches aus der Perspektive der Eiweißzusammensetzung mindestens mit der von herkömmlichem Fleisch mithalten kann. Wie im theoretischen Hintergrund bereits erwähnt, stellt ein hoher Magerfleischanteil, der ja indirekt durch das BEFFE wiedergegeben wird, eine der vom Verbraucher gewünschten Anforderungen an Fleisch dar (Bussemas & Widmaier, 2011, S. 109; Littmann et al., 2006, S. 150). Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten somit aufzeigen, dass das hier untersuchte Sattelschweinfleisch diese Anforderungen zu erfüllen scheint. In der Frage um eine geeignete Preisfindung könnten durch diese Arbeit erste Anhaltspunkte geleistet worden sein. Selbstverständlich bedarf es dafür noch der Betrachtung anderer Fleischqualitätsparameter und Aspekte, die die weiteren Charakteristiken der Sattelschweine anbelangt. Dem wird in gesonderten Projektsträngen nachgegangen (OG PERSA, 2021, S. 2-13).

Zukünftige oder verwandte Arbeiten könnten beispielweise eine erneute Bestimmung des Bindegewebeseiweißgehaltes (mittels eines anderen Verfahrens) durchführen oder eine größere, einheitlichere Stichprobe an extern gekauftem Fleisch untersuchen, sodass eine statistische Einordnung eindeutiger möglich ist. Weiterführend wäre ebenfalls eine Gesamt-Genom-Analyse zur optimalen Einschätzung der Zucht-Möglichkeiten unter Berücksichtigung der hier vorliegenden Analyse der Eiweiß-Zusammensetzung denkbar.

## 8 Schlussfolgerung

Leider zählt die Rassegruppe der Sattelschweine zu den vor dem Aussterben bedrohten Schweinerassen. Dies lässt sich u.a. darauf zurückführen, dass der Rassegruppe im Allgemeinen ein hoher Verfettungsgrad bei gleichzeitig geringem Muskelfleischanteil nachgesagt wird, und es daher immer weniger attraktiv wurde, Sattelschweine zu züchten (BLE, 2021, S. 68–72; Nürnberg et al., 2013; Petig, 2020, S. 2, 4; Schwalm et al., 2015). Im Rahmen dieser Arbeit konnte nun jedoch aufgezeigt werden, dass Sattelschweinfleisch in Bezug auf die Eiweißzusammensetzung als positiv einzuordnende Gehalte aufweist. Es konnten außerdem Indizien gefunden werden, die dafürsprechen, dass das Sattelschweinfleisch aus der hier betrachteten Perspektive mit gekauftem Fleisch mindestens als gleichwertig einzuordnen ist. Zusammen mit den vorliegenden Ergebnissen konnte im Rahmen des Projektes der OG PERSA so ein erster Beitrag für eine neue Preisfindung beim Sattelschweinfleisch und übergeordnet auch für den Erhalt der Rassegruppe geleistet worden sein. Es wurde weiterhin aufgezeigt, dass die Bestimmung des Rohproteingehalts nach der Kjeldahl-Methode eine zuverlässige Vorgehensweise zu sein scheint, während die Verwendung des Test-Kits von Sigma-Aldrich aufgrund verschiedener Aspekte als eher kritisch einzuordnen ist. Es ist nicht auszuschließen, dass zu niedrige Gehalte an Bindegewebsprotein bestimmt wurden und somit etwas niedrigere Werte für das BEFFE zu erwarten wären.

## Literaturverzeichnis

- Bäuerliche Erzeugnismgemeinschaft Schwäbisch Hall (Hrsg.) (o.J.). *Schwäbisch-Hällisches Qualitätsschweinefleisch g.g.A.* Bäuerliche Erzeugnismgemeinschaft Schwäbisch Hall (BESH): <https://www.besh.de/index.php/verbraucher/erzeugnisse/shlandschweine>. Stand 01.01.2024.
- Bellof, G., Dusel, G., Kunz, H.-J., Mahlkow-Nerge K., Ernst Strack, K., Waßmuth, R. & Weber, M. (2005). *Tierproduktion* (13., überarbeitete Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Benger, H., Poyer, I., Lorenz, H. & Schinzel, A. (1969). Genauigkeit der Bestimmung von 4-Hydroxyprolin in Fleisch-und Wurstwaren. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 139(4), 201–204. doi: 10.1007/BF01454980
- Böckenhoff, E. (1988). Markenprogramme für Schweinefleisch. *Agrarwirtschaft: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik*, 37(10), 317–323.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2016). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage Ausg.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brenig, B. (2010). Nahrungsmittel tierischen Ursprungs - Bedarfsgerechtes "Design" durch optimale Nutzung des genetischen Potentials landwirtschaftlicher Nutztiere. *Nova Acta Leopoldina NF*, 108(374), 119-133.
- BÜCHI Labortechnik GmbH (Hrsg.) (2010). Application Note 053: Determination of Hydroxyproline in Meat after Acid Hydrolyzation (Photometric method). Flawil: BÜCHI Labortechnik GmbH.
- Bühler, R. & Postler, G. (2004). *Abschluss zum Forschungsprojekt ÖZW-SHS 02OE396: "Ökologischer Gesamtzuchtwert Schwäbisch-Hällisches Schwein"*.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) (2021). *Einheimische Nutzierrassen in Deutschland und Rote Liste gefährdeter Nutzierrassen 2021*. Bonn: BLE.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.) (2024). *Pro-Kopf-Konsum von Fleisch in Deutschland nach Art in den Jahren 2012 bis 2023 (in Kilogramm)* [Graph]. Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/311479/umfrage/pro-kopf-konsum-von-fleisch-in-deutschland-nach-arten/>. Stand: 14.07.2024.
- Bussemas, R. & Widmaier, A. (Hrsg.) (2011). *Biologische Schweinehaltung: Fütterung, Management und Tiergesundheit* (3. aktualisierte Neuauflage). Mainz: Bioland.
- Campbell, N. A. & Reece, J. R. (2009). *Biologie* (8., aktualisierte Auflage). München: Person Studium.
- Chainetr, W., Glodek, P., Brandt, H., Möllers, B., Henning, M., Kallweit, E. & Fischer, K. (2002). Systematische Gebrauchskreuzung als Möglichkeit der Erhaltung vom Aussterben bedrohter Landschweinrassen. *Archiv für Tierzucht*, 45(1), 35–43. doi: 10.5194/aab-45-35-2002
- de Wreede, I. & Stegemann, H. (1982). Trennung von Muskelprotein, Kollagen und Elastin durch fraktionierte. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 174, 200–207. doi: 10.1007/BF01079974
- Delpont, M., Maas, S., van der Merwe, S. W. & Laurens, J. B. (2004). Quantitation of hydroxypro-

- line in bone by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of chromatography. B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences*, 804(2), 345–351. doi: 10.1016/j.jchromb.2004.01.039
- Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (2015). *DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015)*. Berlin: Beuth.
- Dvořák, Z. & Vognarová, I. (1969). Der Nährwert der Organ- und Gewebeproteine der Schlachttiere und seine Bestimmung. *Food / Nahrung*, 13(2), 81–94. doi: 10.1002/food.19690130202
- Ebermann, R. & Elmadfa, I. (2008). *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*. Wien: Springer.
- Ellis, M., McKeith, F. K. & Miller, K. D. (1999). The Effects of Genetic and Nutritional Factors on Pork Quality: Review. *Asian Journal of Animal Sciences*, 12(2), 261–270. doi: 10.5713/ajas.1999.261
- Feldmann, A. (2002). Alte und gefährdete Haustierrassen bieten Chancen in der Vermarktung. In: F. Begemann, IBV & Landesschafzuchtverband Niedersachsen e.V. (Hrsg.), *Vielfalt auf den Markt* (Band 17) (S. 129-137). Bonn: ZADI.
- Förderverein Bioökonomieforschung e.V. (Hrsg.) (2024). Schweinezucht. Erfolgsgeschichte Tierzucht: <https://zuchterfolge.de/allgemein/schweine-de.html>. Stand 15.01.2024.
- Fritsche, O. (2015). *Biologie für Einsteiger: Prinzipien des Lebens verstehen* (2. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Giovannini, S., Strillacci, M. G., Bagnato, A., Albertini, E. & Sarti, F. M. (2023). Genetic and Phenotypic Characteristics of Belted Pig Breeds: A Review. *Animals: an open access journal from MDPI*, 13(19). doi: 10.3390/ani13193072
- Glatz, J. (2010). Fleisch und Erzeugnisse aus Fleisch. In: W. Frede (Hrsg.), *Handbuch für Lebensmittelchemiker: Lebensmittel – Bedarfsgegenstände – Kosmetika – Futtermittel* (3., vollständig überarbeitete Auflage) (S. 563-585). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Güntherschulze, J. (1997). *1.6. Rotbuntes Husumer Schwein - das Schwein der dänischen Minderheit in Deutschland*. Gesellschaft zur Erhaltung alter und gefährdeter Haustierrassen e.V. (GEH): <https://www.g-e-h.de/geh-schweine/16-rotbunt.htm>. Stand: 12.07.2024.
- Grabinger, B. (2018). *Fit fürs Studium: Statistik*. Bonn: Rheinwerk.
- HAW-Hamburg: Department Ökotrophologie (Hrsg.) (2021). *Praktikum Lebensmittelchemie – Wintersemester 21/22*. Internes Dokument.
- Heylen, K. (1999). *Variation von anatomisch-physiologischen Merkmalen sowie Merkmalen der Fleischqualität im M. longissimus thoracis et lumborum des Schweins unter besonderer Berücksichtigung des intramuskulären Fettgehaltes*. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Abgerufen von <http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/y/2002/pub/agrar/99H327/prom.pdf>.
- Hoffmann, K. (1973). Was ist Fleischqualität? *Fleischwirtschaft* 53, 485.
- Hohenester, S. C. (2006). *Überprüfung von ausgewählten Schnellmethoden zur Bestimmung von Fleischqualitätsparametern*. Inaugural-Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München. Abgerufen von [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/5713/1/Hohenester\\_Sybill.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/5713/1/Hohenester_Sybill.pdf).

- Hollung, K., Grove, H., Færgestad, E. M., Sidhu, M. S. & Berg, P. (2009). Comparison of muscle proteome profiles in pure breeds of Norwegian Landrace and Duroc at three different ages. *Meat science*, 81(3), 487–492. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.10.003
- Horn, F. (2019) *Biochemie des Menschen: Das Lehrbuch für das Medizinstudium* (7. Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Horstmeyer, A. & Vallbracht, A. (1990). *Artgerechte Schweinehaltung — Ein Modell*. Basel: Springer.
- Junqueira, L. C. & Carneiro, J. (1991). *Histologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kallweit, E. (1994). The relevance of meat quality traits in the marketing system of pork. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 101(7), 267–270.
- Kallweit, E., Fries, R., Kielwein, G. & Scholtyssek, S. (1988). *Qualität tierischer Nahrungsmittel: Fleisch, Milch, Eier*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Klemm, R., Walther, R., Karwath, M., Golze, M., Gschwender, F. & Wehlitz, R. (2010). *Gefährdete einheimische Nutztierassen in Sachsen: Basis genetischer Vielfalt und wertvolles Kulturgut*. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Konieczna, L., Pyszka, M., Okońska, M., Niedźwiecki, M. & Bączek, T. (2018). Bioanalysis of underivatized amino acids in non-invasive exhaled breath condensate samples using liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Journal of chromatography. A*, 1542, 72–81. doi: 10.1016/j.chroma.2018.02.019
- Kuhn, G., Falkenberg, H., Langhammer, M., Hartung, M., Wegner, J. & Ender, K. (2001). Zur Körperzusammensetzung von neugeborenen Ferkeln der Deutschen Landrasse und des Deutschen Sattelschweines (Kurzmittteilung). *Archiv für Tierzucht* 44(1), 47–52. doi: 10.5194/aab-44-47-2001
- Land schafft Leben (Hrsg.) (2023). *Schwein Herstellung: Zucht, Rassen, Genetik*. Land schafft Leben. <https://www.landschafftleben.at/lebensmittel/schwein/herstellung/zucht-rassengenetik>. Stand: 20.10.2023.
- Link, G. (2007). *Beziehungen zwischen objektiv und subjektiv ermittelten Fleischqualitätsparametern unter besonderer Berücksichtigung der Muskelstrukturmerkmale im Musculus longissimus von Schweinen*. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. Abgerufen von <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-0006-AFF6-7>.
- Littmann, E., Götz, K.U. & Dodenhoff, J. (2006). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). *Schweinezucht und Schweineproduktion.: Unterrichts- und Beratungshilfe*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ISSN 1611- 4159.
- Lobitz, R., Stiebing, A., Klein, B. & Roesicke, E. (2015). *Fleisch und Fleischerzeugnisse* (17. Auflage). Bonn: aid infodienst Ernährung Landwirtschaft Verbraucherschutz e. V.
- Matissek, R. (2016). *Lebensmittelchemie* (8., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Matissek, R. & Fischer, M. (2021). *Lebensmittelanalytik* (7. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hörning, B. (2022). *Alte Schwarzbunte und Sattelschweine: Gefährdete Rassen in Brandenburg*. Potsdam: MLUK Brandenburg.

- Mortimer, C. E. & Müller, U. (2003). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. (8., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Müller, S. (2011). *Untersuchungen zur Fleischbeschaffenheit und Fleischreifung von Schweinefleisch unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Tiergenetiken in der ökologischen Haltungsform*. Inaugural-Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover. Abgerufen von: [https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd\\_mods\\_00001097](https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd_mods_00001097).
- Nürnberg, K., Dannenberger, D., Nürnberg, G. & Paulke, T. (2013). Fettqualität des Deutschen Sattelschweins nach Langzeitmast. *Fleischwirtschaft* 3, 118–122.
- OG PERSA (Hrsg.) (2021). *EIP Antrag der Operationellen Gruppe PERSA - Geschäftsplan*. Internes Dokument.
- Paulke, T. (o.J.). *Deutsches Sattelschwein-Besonderheiten*. Hybridschweinezuchtverband Nord/Ost e.V. <https://deutsches-sattelschwein.de/besonderheiten.php>. Stand 23.12.2023.
- Petig, M. (2020). *Wachstum, Schlachtkörper- und Fleischqualität der bedrohten Schweinerasse Schwäbisch-Hällisches Schwein unter besonderer Berücksichtigung von Haltungs-, Fütterungs-, und Kombinationskreuzungsvarianten*. Inaugural-Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen. Abgerufen von <https://jpub.uni-giessen.de/items/1e2f7b4c-8e97-4a12-a285-7b74f04835e6>.
- Pugliese, C.; Sirtori, F. (2012). Quality of meat and meat products produced from southern European pig breeds. *Meat Science* (90)3, 511-518. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.09.019
- Rassow, J., Hauser, K., Netzker, R. & Deutzmann, R. (2012). *Biochemie* (3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Rimbach, G., Möhring, J. & Erbersdobler, H. F. (2010). *Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2006). *Fleischqualität: Grundbegriffe, Qualitätsmängel, Einflussfaktoren*. Dresden: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Schmidhofer, T. (1966). Zum Erlass von Mindestanforderungen an Fleischwaren. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 108(3). doi: 10.5169/SEALS-589820
- Schmidt, C. & Dietrich, L. (2022). *Chemie im Biologiestudium* (2. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Scholz, A. M. (2002). *In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse*. Habilitationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München. Abgerufen von [https://epub.uni-muenchen.de/418/1/Scholz\\_Armin.pdf](https://epub.uni-muenchen.de/418/1/Scholz_Armin.pdf).
- Schwalm, A., Bauer, A., Dederer, I., Well, C., Bussemas, R. & Weissmann, F. (2015). Die Mast von schweren Schweinen im ökologischen Landbau zur Erzeugung langgereifter Rohwürste als mögliche Strategie zur Erhaltung alter, gefährdeter Rassen. *Züchtungskunde*, 87(4), 272–292. ISSN: 0044-5401.
- Sigma-Aldrich (Hrsg.) (2021). *Hydroxyproline Assay Kit - Technical Bulletin* (Catalog Number MAK008). St. Louis (MO) USA: Sigma-Aldrich.

- Slow Food Deutschland a. (Hrsg.) (o.J.). *Angler Sattelschwein und Rotbuntes Husumer Schwein*. Slow Food Deutschland. [https://www.slowfood.de/was-wir-tun/projekte-aktionen-und-kampagnen/arche-des-geschmacks/die\\_arche\\_passagiere/anglersattelschwein/pdf\\_arche\\_web\\_angler\\_sattelschwein\\_rotbuntes-humsumer\\_2008.pdf](https://www.slowfood.de/was-wir-tun/projekte-aktionen-und-kampagnen/arche-des-geschmacks/die_arche_passagiere/anglersattelschwein/pdf_arche_web_angler_sattelschwein_rotbuntes-humsumer_2008.pdf). Stand 16.01.2024.
- Slow Food Deutschland b. (Hrsg.) (o.J.). *Schwäbisch-Hällisches Landschwein*. Slow Food Deutschland. [https://web.archive.org/web/20150601011901/https://www.slowfood.de/biodiversitaet/die\\_arche\\_passagiere/schwaebisch\\_haellisches\\_landschwein/](https://web.archive.org/web/20150601011901/https://www.slowfood.de/biodiversitaet/die_arche_passagiere/schwaebisch_haellisches_landschwein/). Stand 16.01.2024.
- Stiebing, A., Upmann, M., Schmidt, B. & Thumel, H. (2011). Sensorische Analyse: Sensorik von Frischfleisch. *DLG-Expertenwissen Sensorik*.
- Technische Universität Dresden (Hrsg.) (o.J.). *Untersuchung und Beurteilung von Lebensmitteln: Wurst*. Praktikumsskript, Technische Universität Dresden. Abgerufen von <http://mk-atomy.de/protokolle/lc/wurst.pdf>.
- van Wijk, H. J., Arts, D. J. G., Matthews, J. O., Webster, M., Ducro, B. J. & Knol, E. F. (2005). Genetic parameters for carcass composition and pork quality estimated in a commercial production chain. *Journal of animal science*, 83(2), 324–333. doi: 10.2527/2005.832324x
- Vaupel, P., Schaible, H.-G. & Mutschler, E. (2015). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*. (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Warner, R. D., Greenwood, P. L., Pethick, D. W. & Ferguson, D. M. (2010). Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat science*, 86(1), 171–183. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.04.042
- Welker, V., Klemm, R., Menzer, K., Müller, U., Fischer, R. & Wehlitz, R. (2020). *Vielfalt der Nutztiere erhalten: Gefährdete Rassen in Sachsen - Stand und Aktivitäten*. Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft.
- Wenk, C. & Prabucki, A. L. (1990). Faktoren der Qualität von Schweinefleisch. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 132(2), 53–63. doi: 10.5169/SEALS-589199
- Wu, G. (2020). Important roles of dietary taurine, creatine, carnosine, anserine and 4-hydroxyproline in human nutrition and health. *Amino acids*, 52(3), 329–360. doi: 10.1007/s00726-020-02823-6

## Rechtsquellenverzeichnis

Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, § 38 Vorläufiges Tabakgesetz, § 28b GenTG. Band I (L) Verfahren zur Probennahme und Untersuchung von Lebensmitteln (Hrsg. BVL).

Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. September 2021 (BGBl. I S. 4253; 2022 I S. 28), zuletzt geändert durch Artikel 11 des Gesetzes vom 06. Mai 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 149).

Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse in der Neufassung vom 14. April 2022 (Banz AT 28.07.2022 B1, GMBI 29-30/2022, S. 657-703), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 13. September 2022 (Banz AT 04.10.2022 B3, GMBI 36/2022, S. 825).

Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. August 1990 (BGBl. I S. 1809), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 10. März 2022 (BGBl. I S. 428).

Verordnung (EU) Nr. 1308/2013 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. Dezember über eine gemeinsame Marktorganisation für landwirtschaftliche Erzeugnisse und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 922/72, (EWG) Nr. 234/79, (EG) Nr. 1037/2001 und (EG) Nr. 1234/2007, ABl. Nr. L 347, S. 671, zuletzt geändert durch VO (EU) 2024/1143 vom 11. April 2024, ABl. Nr. L 1143, S. 1.

# Anhang

## A: Versuchsanleitung für das *Hydroxyproline Assay Kit* von Sigma-Aldrich

**SIGMA-ALDRICH®**

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

3050 Spruce Street, St. Louis, MO 63103 USA  
Tel: (800) 521-8956 (314) 771-5765 Fax: (800) 325-5052 (314) 771-5757  
email: [techservice@sial.com](mailto:techservice@sial.com) [sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

## Product Information

### Hydroxyproline Assay Kit

Catalog Number **MAK008**  
Storage Temperature 2–8 °C

## TECHNICAL BULLETIN

### Product Description

Hydroxyproline (4-hydroxyproline) is a non-proteinogenic amino acid formed by the post-translational hydroxylation of proline. Hydroxyproline is a major component of collagen, where it serves to stabilize the helical structure. Because hydroxyproline is largely restricted to collagen, the measurement of hydroxyproline levels can be used as an indicator of collagen content. Conditions that increase collagen turnover can elevate serum and urine hydroxyproline levels. Urine and serum hydroxyproline levels can be used as a marker for bone resorption.

In the Hydroxyproline Assay Kit, hydroxyproline concentration is determined by the reaction of oxidized hydroxyproline with 4-(dimethylamino)benzaldehyde (DMAB), which results in a colorimetric (560 nm) product, proportional to the hydroxyproline present. This kit is suitable for hydroxyproline detection in cell and tissue culture supernatants, urine, plasma, serum, and other biological samples.

### Components

The kit is sufficient for 100 assays in 96-well plates.

|  |        |
|--|--------|
| Oxidation Buffer<br>Catalog Number MAK008A                     | 10 mL  |
| Chloramine T Concentrate<br>Catalog Number MAK008B             | 0.6 mL |
| Perchloric Acid/Isopropanol Solution<br>Catalog Number MAK008C | 5 mL   |
| DMAB Concentrate in DMSO<br>Catalog Number MAK008D             | 5 mL   |
| Hydroxyproline Standard, 1 mg/mL<br>Catalog Number MAK008E     | 0.1 mL |

### Reagents and Equipment Required but Not Provided.

- 96-well flat-bottom plate. It is recommended to use clear plates for colorimetric assays. Cell culture or tissue culture treated plates are **not** recommended.
- Spectrophotometric multiwell plate reader
- Concentrated (37% or ~12 M) Hydrochloric Acid (HCl, Catalog Number 320331 or equivalent)
- Activated charcoal (Catalog Number 242276 or 97876, or equivalent)
- 120 °C Heating block
- Pipette compatible with concentrated HCl
- Centrifugal Evaporator or 60 °C oven
- Pressure-tight polypropylene vial (Catalog Number TMO362800-0020, or equivalent)
- Nalgene™ PPCO Low-Profile Caps (Fisher Scientific Catalog Number 03-390-55, or equivalent)

### Precautions and Disclaimer

For R&D use only. Not for drug, household, or other uses. Please consult the Safety Data Sheet for information regarding hazards and safe handling practices.

### Preparation Instructions

Briefly centrifuge vials before opening. To maintain reagent integrity, avoid repeated freeze/thaw cycles.

**Oxidation Buffer:** Allow buffer to come to room temperature before use.

**DMAB Concentrate:** Warm to room temperature prior to use. Store protected from light and moisture at 2–8 °C.

### Storage/Stability

The kit is shipped on wet ice. Storage at 2–8 °C, protected from light, is recommended. The reagent concentrates are stable as supplied.

(Sigma-Aldrich, 2021, S. 1)

**Procedure**

All samples and standards should be run in duplicate. Use ultrapure water for the preparation of standards and samples.

Hydroxyproline Standards for Colorimetric Detection

Dilute 10  $\mu\text{L}$  of the 1 mg/mL Hydroxyproline Standard Solution with 90  $\mu\text{L}$  of water to prepare a 0.1 mg/mL standard solution. Add 0, 2, 4, 6, 8, and 10  $\mu\text{L}$  of the 0.1 mg/mL hydroxyproline standard solution into a 96-well plate, generating 0 (blank), 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0  $\mu\text{g/well}$  standards.

Sample Preparation

To prepare serum or urine samples, transfer 100  $\mu\text{L}$  of sample to a pressure-tight polypropylene vial with PTFE-lined cap. Add 100  $\mu\text{L}$  of concentrated hydrochloric acid (HCl,  $\sim 12\text{ M}$ ), cap tightly, and hydrolyze at 120  $^{\circ}\text{C}$  for 3 hours. Add 4 mg of activated charcoal, mix, and centrifuge at 10,000  $\times g$  for 3 minutes. Transfer 10–50  $\mu\text{L}$  of supernatant to a 96-well plate.

Homogenize 10 mg tissue or cells in 100  $\mu\text{L}$  of water and transfer to a pressure-tight polypropylene vial with PTFE-lined cap. Add 100  $\mu\text{L}$  of concentrated hydrochloric acid (HCl,  $\sim 12\text{ M}$ ), cap tightly, and hydrolyze at 120  $^{\circ}\text{C}$  for 3 hours. Mix and centrifuge at 10,000  $\times g$  for 3 minutes. Transfer 10–50  $\mu\text{L}$  of supernatant to a 96-well plate.

Hydrolysis of samples may result in discoloration.

Evaporate all **sample** wells to dryness under vacuum. Alternatively, place plates in a 60  $^{\circ}\text{C}$  oven to dry samples.

For unknown samples, it is suggested to test several sample dilutions to ensure the readings are within the linear range of the standard curve.

**Note:** Endogenous compounds may interfere with the reaction. To ensure the accurate determination of hydroxyproline in the test samples, it is recommended to set up a spiked sample control for each sample. Spike the control group with 0.4  $\mu\text{g}$  of the hydroxyproline standard.

Assay

Preparation of Assay Reagents – The following 2 assay reagents are stable for 2–3 hours after preparation, and should be prepared after sample preparation, just prior to the start of the assay. It is advised to only make as much reagent as is necessary for the number of samples and standards to be assayed.

Chloramine T/Oxidation Buffer Mixture – 100  $\mu\text{L}$  is required for each reaction well. For each well, add 6  $\mu\text{L}$  of Chloramine T Concentrate to 94  $\mu\text{L}$  of Oxidation Buffer and mix well.

Diluted DMAB Reagent – 100  $\mu\text{L}$  is required for each reaction well. For each well, add 50  $\mu\text{L}$  of DMAB Concentrate to 50  $\mu\text{L}$  of Perchloric Acid/Isopropanol Solution and mix well.

1. Add 100  $\mu\text{L}$  of the Chloramine T/Oxidation Buffer Mixture to each sample and standard well. Incubate at room temperature for 5 minutes.
2. Add 100  $\mu\text{L}$  of the Diluted DMAB Reagent to each sample and standard well, and incubate for 90 minutes at 60  $^{\circ}\text{C}$ .
3. Measure the absorbance at 560 nm ( $A_{560}$ ).

(Sigma-Aldrich, 2021, S. 2)

**Results**Calculations

The background for the assay is the value obtained for the 0 (blank) hydroxyproline standard. Correct for the background by subtracting the blank value from all readings. Background values can be significant and must be subtracted from all readings.

Use the values obtained from the appropriate hydroxyproline standards to plot a standard curve. The amount of hydroxyproline present in the samples may be determined from the standard curve.

Note: A new standard curve must be set up each time the assay is run.

Concentration of Hydroxyproline

$$S_a/S_v = C$$

$S_a$  = Amount of hydroxyproline in unknown sample ( $\mu\text{g}$ ) from standard curve

$S_v$  = Sample volume ( $\mu\text{L}$ ) added into the wells

$C$  = Concentration of hydroxyproline in sample

Note: For spiked samples, correct for any sample interference by subtracting the sample reading from the spiked sample reading.

$$S_a = \frac{(A_{560})_{\text{sample}}}{(A_{560})_{\text{spiked control}} - (A_{560})_{\text{sample}}} \times 0.4 \mu\text{g}$$

Sample Calculation

Amount of hydroxyproline ( $S_a$ ) = 5.84  $\mu\text{g}$

Sample volume ( $S_v$ ) = 50  $\mu\text{L}$

Concentration of hydroxyproline in sample

$$5.84 \mu\text{g}/50 \mu\text{L} = 0.1168 \mu\text{g}/\mu\text{L}$$

(Sigma-Aldrich, 2021, S. 3)

**Troubleshooting Guide**

| <b>Problem</b>                | <b>Possible Cause</b>                                     | <b>Suggested Solution</b>  |
|-------------------------------|---|--|
| Assay not working             | Cold assay buffer   | Assay Buffer must be at room temperature   |
|                               | Omission of step in procedure                             | Refer and follow Technical Bulletin precisely  |
|                               | Plate reader at incorrect wavelength                      | Check filter settings of instrument  |
|                               | Type of 96-well plate used                                | For colorimetric assays, use clear plates  |
| Samples with erratic readings | Samples prepared in buffer                                | Use ultrapure water for sample preparation   |
|                               | Cell/Tissue culture samples were incompletely homogenized | Repeat the sample homogenization, increasing the length and extent of homogenization step. |
|                               | Samples used after multiple freeze-thaw cycles            | Aliquot and freeze samples if samples will be used multiple times                          |
|                               | Presence of interfering substance in the sample           | If possible, dilute sample further   |
|                               | Use of old or inappropriately stored samples              | Use fresh samples and store correctly until use  |
|                               | Use of improperly stored reagents                         | Check the storage requirements and store the components appropriately                      |
|                               | Allowing the reagents to sit for extended times on ice    | Prepare fresh reaction mix before use  |
|                               | Incorrect incubation times or temperatures                | Refer to Technical Bulletin and verify correct incubation times and temperatures           |
|                               | Incorrect volumes used                                    | Use calibrated pipettes and aliquot correctly  |
| Non-linear standard curve     | Use of partially thawed components                        | Thaw and resuspend all components before preparing the reaction mix                        |
|                               | Pipetting errors in preparation of standards              | Avoid pipetting small volumes  |
|                               | Air bubbles formed in well                                | Pipette gently against the wall of the plate well  |
|                               | Standard stock is at incorrect concentration              | Refer to the standard dilution instructions in the Technical Bulletin                      |
|                               | Calculation errors  | Recheck calculations after referring to Technical Bulletin                                 |
|                               | Substituting reagents from older kits/lots                | Use fresh components from the same kit   |
| Unanticipated results         | Samples measured at incorrect wavelength                  | Check the equipment and filter settings  |
|                               | Samples contain interfering substances                    | If possible, dilute sample further   |
|                               | Sample readings above/below the linear range              | Concentrate or dilute samples so readings are in the linear range                          |

Nalgene is a registered trademark of Thermo Fisher Scientific or its subsidiaries

HM,SS,KVG,GA,LS,MAM 3/21-1

©2021 Sigma-Aldrich Co. LLC. All rights reserved. SIGMA-ALDRICH is a trademark of Sigma-Aldrich Co. LLC, registered in the US and other countries. Sigma brand products are sold through Sigma-Aldrich, Inc. Purchaser must determine the suitability of the product(s) for their particular use. Additional terms and conditions may apply. Please see product information on the Sigma-Aldrich website at [www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com) and/or on the reverse side of the invoice or packing slip.

(Sigma-Aldrich, 2021, S. 4)

# B: Versuchsanleitung für die Kjeldahl-Methode des Lebensmittelchemielabors der HAW

32

Bestimmung von Gesamteiweiß nach Kjeldahl

## Bestimmung von Gesamteiweiß nach Kjeldahl

### 5 Bestimmung des Rohprotein-, bzw. des Milchprotein-Gehaltes

#### 5.1 Grundlagen

In vielen stickstoffhaltigen organischen Verbindungen - also auch in Proteinen - lässt sich der Stickstoffgehalt nach der Kjeldahl-Methode bestimmen. Hierbei wird der Gesamtstickstoff in Form von Ammoniak quantitativ bestimmt und durch Umrechnung als Protein angegeben.

Die Bestimmung wird in drei Schritten durchgeführt:

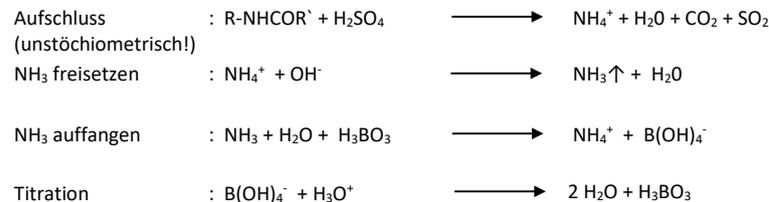
1. Thermischer Aufschluss einer Probe in Gegenwart von Schwefelsäure und Katalysator (Kjeldahl - Aufschluss).
2. Freisetzung und Auffangen des Ammoniaks aus dem ammoniumionenhaltigen Aufschluss mittels alkalischer Wasserdampfdestillation.
3. Quantitative Bestimmung des Ammoniaks durch Titration mit Salzsäure.

#### 5.2 Prinzip

Im ersten Schritt wird die organische, stickstoffhaltige Analysesubstanz mit konzentrierter Schwefelsäure bei Temperaturen zwischen 360° und 410°C in Gegenwart von geeigneten Katalysatoren oxidativ aufgeschlossen (mineralisiert); dabei wird Stickstoff quantitativ in Ammoniumionen überführt.

Im zweiten Schritt wird das nach Zugabe von Lauge freigesetzte Ammoniak mit Hilfe einer Wasserdampfdestillation in eine borsäurehaltige Vorlage getrieben und im dritten Schritt mit Salzsäure direkt titriert.

Reaktionsschema:



Aufgrund ihres Aufbaus aus einzelnen Aminosäuren schwankt der Stickstoffgehalt der Proteine nur in relativ engen Grenzen (15 – 18 %; im Durchschnitt 16 %). Das heißt, um vom ermittelten Stickstoffgehalt auf den Proteingehalt des Lebensmittels zu schließen, bedarf es eines Faktors F (Faktor Lebensmittel allgemein = 6,25 / Faktor Milcheiweiß = 6,38).

Faktoren zur Proteinberechnung aus dem analytisch ermittelten Stickstoffanteil von Lebensmitteln\*:

| Lebensmittel                   | F    |
|--------------------------------|------|
| Milch, Milchprodukte           | 6,38 |
| Ölsamen, Obst                  | 5,30 |
| Gelatine                       | 5,55 |
| Soja und Erzeugnisse           | 5,71 |
| Lebensmittel auf Getreidebasis | 5,80 |
| Lebensmittel, allgemein**      | 6,25 |
| Öle und Fette                  | 6,34 |

**Anmerkung:** Alle Geräte und Chemikalien stehen bei dem aufgebauten Gerät bereit, Sie bekommen Hilfe durch eine Betreuungsperson bei der Durchführung.

### 5.3 Versuchsdurchführung

**Geräte und Hilfsmittel:** Analysenwaage, Aufschlussgerät (Büchi K-424), Dispenser, Kjeldahl-Kolben 300 mL, Pergamentschiffchen (stickstofffrei), Glasperlen, Destillationsapparatur (Büchi B-324), Erlenmeyerkolben 300 mL, Bürette 50 mL, Messzylinder 50 mL, Becherglas ca. 150 mL

**Chemikalien:** Schwefelsäure, p.A., 98 %ig = konz., zur Stickstoffbestimmung  
Katalysatorgemisch (Tabletten, quecksilber- und selenfrei: Titandioxid/  
Kupfersulfat/ Natriumsulfat-Gemisch)  
Wägeschiffchen aus Pergament, zur Stickstoffbestimmung geeignet  
Natronlauge, p.A., 32 %ig  
Borsäure, 4 %ig  
Misch-Indikator Nr. II nach Sher  
Salzsäure-Maßlösung, c = 0,1 mol/L

**Entsorgung:** Die nach Schritt 3 titrierte Lösung ist nahezu neutral und kann im Ausguss entsorgt werden.

**Probe:** Quark mit 20 % oder 40 % Fett i. Tr. oder veganes Ersatzprodukt  
Außerdem muss mindestens ein, für alle zu verwendender Blindwert, parallel ermittelt werden. Dieser Wert wird an die Tafel geschrieben. Bitte unbedingt notieren!

#### 5.3.1 Erster Schritt: Aufschluss

Die Aufschlussapparatur ist so ausgelegt, dass bei jedem Durchlauf bis zu 12 Proben (oder Blindwerte oder Kombinationen aus beiden) gleichzeitig aufgeschlossen werden können (Dauer ca. 1 Stunde). Hier ist eine Abstimmung der beteiligten Personen notwendig.

Von der Probe werden 1,0 g Quark oder 1,8 g veganes Ersatzprodukt in ein Wägeschiffchen auf 0,1 mg eingewogen und in einen Kjeldahlkolben gegeben. Hierzu werden eine Katalysatortablette, 20 mL Schwefelsäure (Dispenser) und 2 Glasperlen zur Verhinderung von Siedeverzügen hinzugegeben.

Die Gläser werden nun in das ca. 5 - 10 Minuten lang vorgeheizte Aufschlussgerät (bei Heizposition 8,5) eingesetzt und die Proben aufgeschlossen. Dabei muss das Absaugrohr über einen Schlauch mit einer elektrischen Pumpe verbunden sein, die die Abgase absaugt.

\* Quelle: Mattissek, Fischer, Steiner, Lebensmittelanalytik, Springer, 2018, Seite 359

\*\* Faktor nach Lebensmittel-Informationsverordnung (VO (EU) 1169/2011)

Die Temperatur des Kolbens wird so eingestellt, dass sich die Kondensationszone bis max. 3 cm unterhalb des oberen Glasrandes befindet. Zunächst wird solange gekocht, bis der Aufschluss klar, eventuell leicht grünlich geworden ist. Darüber hinaus wird der Aufschluss weitere 15 min. erhitzt; erst jetzt gilt der Aufschluss als beendet. Die Zeit bis zur Klärung der Lösung darf 0,5 Stunden nicht unterschreiten.

Die Heizung wird ausgeschaltet, die Kolben werden zum Abkühlen für 15 min. in einem Standgestell deponiert.

#### 5.3.2 Zweiter Schritt: Destillation

Die Aufschlusslösung wird vorsichtig und portionsweise mit 20 mL Wasser (Messzylinder) versetzt und in die vorgeheizte Destillationsapparatur gesetzt. Das Destillationsgerät ist so konfiguriert, dass Sie nur noch einen 300 mL-Weithals-Erlenmeyerkolben mit 2 - 3 Tropfen Misch-Indikator versehen und so positionieren müssen, dass sowohl die Borsäurelösung aus dem Vorratstank, als auch das Destillat in die Vorlage fließen können. Nach Drücken von „Start“ unter Methode „Stud60“ (s. Kurzbedienungsanleitung im Labor) laufen alle weiteren Verfahrensschritte automatisch ab:

50 mL Borsäurelösung fließen in die Vorlage; in das Reaktionsgefäß strömen erst 60 mL Wasser, danach 100 mL NaOH-Lösung. Dann wird durch Wasserdampfeinleitung die Destillation gestartet, welche nach 5 - 6 min. mit einem Signalton automatisch endet. Die Zufuhrschläuche in den Erlenmeyerkolben werden gespült und die Vorlage wird entfernt.

#### 5.3.3 Dritter Schritt: Titration

Zur quantitativen Bestimmung wird das Triborat aus der Vorlage mit 0,1 N Salzsäure gegen den Misch-Indikator titriert. Das Destillat wird schnell bis zum ersten Farbumschlag (von grün nach blau) titriert; der Endpunkt ist erst dann erreicht, wenn der Farbumschlag (jetzt tropfenweise Zugabe) von blau zu einem schwachen graubraun erfolgt.

**5.4 Auswertung**

Berechnung des Stickstoffgehaltes  $w_N$ , angegeben in g Stickstoff/100 g:

$$w_N = \frac{(V - V_0) \cdot f \cdot 1,4008 \cdot N}{E} \quad (1)$$

Umrechnung des N-Gehaltes in Proteingehalt  $w_{\text{Prot}}$ , angegeben in g Protein /100 g:

$$w_{\text{Prot}} = w_N \cdot F \quad (2)$$

|        |   |
|--------|---|
| V      | Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung im Hauptversuch in mL  |
| $V_0$  | Verbrauch an Salzsäure-Maßlösung im Blindversuch in mL  |
| f      | Faktor der 0,1 N Salzsäure, $f = 1,000$   |
| 1,4008 | 1 mL Salzsäure (0,1 mol/L) entspricht 1,4008 mg Stickstoff  |
| N      | Normalität der Salzsäure - Maßlösung  |
| E      | Einwaage der Probe in g   |
| F      | Umrechnungsfaktoren von Lebensmitteln; N % in Protein %, Faktor Milcheiweiß = 6,38 / Faktor Lebensmittel allgemein = 6,25 (s. S. 33). |

**5.5 Ergebnisangabe**

(Eine Mittelwertbildung ist natürlich nur bei einer Mehrfachanalyse durchzuführen.)

|   |   |                              |   |
|---|---|------------------------------|---|
| <b>Lebensmittelprobe:</b> _____   |   |                              |   |
| <b>Stickstoffanteil <math>w_{N(1)}</math></b>                           | = _____%  | <b><math>w_{N(2)}</math></b> | = _____%                                  |
|   |   | <b><math>w_{N(3)}</math></b> | = _____%                                  |
| <b>Stickstoffanteil <math>w_N</math></b>                                | = _____% (Mittelwert)                           |                              |   |
| <b>Proteinanteil <math>w_{\text{Produkt}}</math> (g Protein/ 100 g)</b> |   |                              |   |
| <b>Einzelwerte</b>  | <b><math>w_{\text{Produkt}(1)}</math></b>       | = _____%                     | <b><math>w_{\text{Produkt}(2)}</math></b> |
|   |   | = _____%                     | <b><math>w_{\text{Produkt}(3)}</math></b> |
|   |   | = _____%                     |   |
| <b>Mittelwert</b>   | <b><math>w_{\text{Produkt}}</math></b> = _____% |                              |   |

**5.6 Ergebnisdiskussion**

Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit den Anforderungen in der KäseV\*, mit denen des Herstellers und mit Angaben aus Ernährungstabellen. Beurteilen Sie auch den Blindversuch und den Ablauf Ihrer Analyse (Titration, Destillation etc.).

\* Veganes Quarkersatzprodukt: Stufen Sie das Ersatzprodukt nach der KäseV in die entsprechende Fettgehaltsstufe ein und machen Sie eine Aussage über den Proteingehalt des Ersatzprodukts im Vergleich zu einem Quark und beurteilen Sie, ob das Ersatzprodukt der KäseV entsprechen würde.

## C: Kjeldahl-Destillation – Parameter

*Tabelle 13: Auflistung der drei verwendeten Parameter bei der Destillation im Rahmen der Kjeldahl-Methode*

| <b>Reagenz</b>         | <b>Volumen</b> | <b>Zweck/Beschreibung</b>             |
|------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Wasser ( $H_2O$ )      | 60 mL          | Wird in das Reaktionsgefäß gegeben.   |
| Borsäure ( $H_3BO_4$ ) | 50 mL          | Wird in den Erlenmeyerkolben gegeben. |
| Natronlauge ( $NaOH$ ) | 100 mL         | Wird in das Reaktionsgefäß gegeben.   |

## D: Vollständige Suchstrategietabelle für den Theoretischen Hintergrund

Tabelle 14: Vollständige Suchstrategietabelle zur Akquirierung geeigneter (Fach-)Literatur, sortiert nach Themenblöcken

| Themenblock                  | Datenbank      | Suchwörter und Operatoren                 |
|------------------------------|----------------|---|
| Fleischqualität              | Google Scholar | Fleischqualität UND Schwein               |
|                              | Google Scholar | Verbraucher UND Qualität UND Schwein      |
|                              | Google Scholar | Qualität UND tierische Nahrungsmittel     |
| Genetik                      | Google Scholar | Fleischqualität UND Schwein UND Genetik   |
|                              | Google Scholar | Muskelfleisch UND Genetik UND Schwein     |
|                              | Google Scholar | Heritabilität UND Schwein UND Bindegewebe |
|                              | Google Scholar | genetic influence AND meat quality        |
|                              | Google Scholar | Quantitative trait loci                   |
| BEFFE                        | Google Scholar | BEFFE (UND Schwein)                       |
|                              | Google Scholar | Bindegewebe UND Definition                |
| Rassegruppe<br>Sattelschwein | Google Scholar | German Saddleback Pig                     |
|                              | Google Scholar | alte Schweinerassen UND Deutschland       |
|                              | Google Scholar | Muttereigenschaften UND Schwein           |
|                              | Google Scholar | Sattelschwein                             |
|                              | Google Scholar | Sattelschwein UND Genetik                 |
|                              | Google Scholar | Deutsches Sattelschwein                   |
|                              | Google Scholar | Angler Sattelschwein                      |
|                              | Google Scholar | Schwäbisch Hällisches Schwein             |
|                              | Google Scholar | Rotbuntes Husumer Schwein                 |
| Schweinezucht                | Google Scholar | Schweinezucht UND Rassen UND Deutschland  |
|                              | Google Scholar | Entwicklung UND Züchtung UND Schweine     |
|                              | Google Scholar | Schweinezucht UND Deutschland             |

## E: Vollständige Ergebnis- und Rechentabelle der Kjeldahl-Methode

Tabelle 15: Vollständige Ergebnis- und Rechentabelle für die Durchführung der Kjeldahl-Methode

| Datum    | Probennummer | Einwaage in g (E) | Verbrauch HCl (V) in mL | Blindwert (V <sub>0</sub> ) - Verbrauch HCl in mL | Faktor der HCl | Umrechnungsfaktor HCl auf N | Normalität der HCl | Umrechnungsfaktor für LM | Stickstoffgehalt (W <sub>N</sub> ) in g pro 100 g | Eiweißgehalt (W <sub>Prot</sub> ) in g pro 100 g | Mittelwert aus W <sub>Prot</sub> in g pro 100 g |
|----------|--------------|-------------------|-------------------------|---|----------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|---|--|---|
| 05.02.24 | KS1 (1)      | 0,9977            | 28,99                   | 0,22  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,04  | 25,25  | 25,18   |
| 05.02.24 | KS1 (2)      | 1,0003            | 29,09                   | 0,39  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,02  | 25,12  |   |
| 05.02.24 | Bio 2 (1)    | 0,9962            | 20,18                   | 0,22  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 2,81  | 17,54  |   |
| 05.02.24 | Bio 2 (2)    | 0,9958            | 26,00                   | 0,39  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,60  | 22,52  | 22,48   |
| 06.02.24 | Bio 2 (3)    | 1,0773            | 27,8                    | 0,18  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,59  | 22,45  |   |
| 06.02.24 | Bio 2 (4)    | 1,0224            | 26,49                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,60  | 22,49  |   |
| 05.02.24 | 006 (1)      | 0,9988            | 29,01                   | 0,22  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,04  | 25,24  |   |
| 05.02.24 | 006 (2)      | 0,9996            | 29,26                   | 0,39  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,05  | 25,29  | 25,10   |
| 06.02.24 | 006 (3)      | 1,0078            | 28,76                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,97  | 24,78  |   |
| 05.02.24 | 058 (1)      | 1,0091            | 30,22                   | 0,22  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,16  | 26,03  | 25,49   |
| 05.02.24 | 058 (2)      | 1,0017            | 28,94                   | 0,39  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,99  | 24,95  |   |
| 05.02.24 | 061 (1)      | 1,0074            | 29,53                   | 0,22  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,08  | 25,47  |   |
| 05.02.24 | 061 (2)      | 1,0000            | 28,68                   | 0,39  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,96  | 24,77  | 22,74   |
| 06.02.24 | 061 (3)      | 1,0721            | 24,68                   | 0,18  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,20  | 20,01  |   |
| 06.02.24 | 019 (1)      | 1,0709            | 31,93                   | 0,18  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,15  | 25,96  | 25,87   |
| 06.02.24 | 019 (2)      | 0,9707            | 28,81                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,12  | 25,78  |   |
| 06.02.24 | 064 (1)      | 1,0128            | 23,88                   | 0,18  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,28  | 20,49  | 23,40   |
| 06.02.24 | 064 (2)      | 0,9731            | 29,47                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,21  | 26,31  |   |
| 06.02.24 | 065 (1)      | 1,0160            | 29,45                   | 0,18  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,04  | 25,22  | 22,47   |
| 06.02.24 | 065 (2)      | 0,9942            | 22,61                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 3,15  | 19,71  |   |
| 08.02.24 | 046 (1)      | 0,7761            | 24,61                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,40  | 27,50  | 27,21   |
| 08.02.24 | 046 (2)      | 1,0000            | 32,61                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,54  | 28,35  |   |
| 08.02.24 | 046 (3)      | 1,0246            | 30,75                   | 0,24  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,17  | 26,07  |   |
| 08.02.24 | 047 (1)      | 1,0227            | 32,05                   | 0,23  | 1              | 1,4008                      | 0,1                | 6,25                     | 4,36  | 27,24  | 26,67   |

|              |         |        |                     |      |   |        |     |      |      |       |       |
|--------------|---------|--------|---------------------|------|---|--------|-----|------|------|-------|-------|
| 08.02.24     | 047 (2) | 1,0043 | 30,19               | 0,24 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,18 | 26,11 |       |
| 08.02.24     | 052 (1) | 1,0031 | 31,71               | 0,23 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,40 | 27,48 | 27,07 |
| 08.02.24     | 052 (2) | 0,9921 | 30,45               | 0,24 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,27 | 26,66 |       |
| 08.02.24     | 020 (1) | 0,9980 | 26,53               | 0,23 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 3,69 | 23,07 | 24,98 |
| 08.02.24     | 020 (2) | 1,0147 | 30,91               | 0,24 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,23 | 26,46 |       |
| 08.02.24     | 020 (3) | 1,0431 | 30,52               | 0,24 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,07 | 25,41 |       |
| 13./14.02.24 | 021 (1) | 1,0118 | 31,37               | 0,14 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,32 | 27,02 | 26,57 |
| 13./14.02.24 | 021 (2) | 1,0035 | 30,22               | 0,28 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,18 | 26,12 |       |
| 13./14.02.24 | 022 (1) | 1,0302 | 30,15               | 0,14 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,08 | 25,50 | 25,82 |
| 13./14.02.24 | 022 (2) | 1,0019 | 30,20               | 0,28 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,18 | 26,15 |       |
| 13./14.02.24 | 043 (1) | 1,0498 | 32,39               | 0,14 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,30 | 26,90 | 28,43 |
| 13./14.02.24 | 043 (2) | 0,9858 | 34,02               | 0,28 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,79 | 29,96 |       |
| 13./14.02.24 | 056 (1) | 1,0455 | 33,64               | 0,14 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,49 | 28,05 | 27,77 |
| 13./14.02.24 | 056 (2) | 1,0485 | 33,21               | 0,28 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,40 | 27,50 |       |
| 13./14.02.24 | 060 (1) | 1,0630 | kein<br>Aufschluss! | x    | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | x    | x     |       |
| 13./14.02.24 | 060 (2) | 1,0282 | 32,13               | 0,28 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,34 | 27,12 | 26,08 |
| 23.02.24     | 060 (3) | 1,0285 | 30,31               | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,11 | 25,66 |       |
| 23.02.24     | 060 (4) | 0,9889 | 29,06               | 0,31 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,07 | 25,45 |       |
| 23.02.24     | 048 (1) | 1,0275 | 31,97               | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,34 | 27,10 | 26,87 |
| 23.02.24     | 048 (2) | 1,0312 | 31,69               | 0,31 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,26 | 26,64 |       |
| 23.02.24     | 049 (1) | 1,0227 | 31,69               | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,32 | 26,98 | 26,44 |
| 23.02.24     | 049 (2) | 1,0473 | 31,3                | 0,31 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,15 | 25,91 |       |
| 23.02.24     | 055 (1) | 0,9864 | 29,72               | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,20 | 26,23 | 26,26 |
| 23.02.24     | 055 (2) | 0,9803 | 29,75               | 0,31 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,21 | 26,29 |       |
| 23.02.24     | 066 (1) | 1,0181 | 31,54               | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,32 | 26,98 | 26,53 |
| 23.02.24     | 066 (2) | 1,0443 | 31,42               | 0,31 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,17 | 26,08 |       |

|              |           |        |       |      |   |        |     |      |      |       |       |
|--------------|-----------|--------|-------|------|---|--------|-----|------|------|-------|-------|
| 27.02.24     | KS2 (1)   | 0,9816 | 28,65 | 0,08 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,08 | 25,48 | 25,57 |
| 27.02.24     | KS2 (2)   | 1,0144 | 29,89 | 0,16 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,11 | 25,66 |       |
| 27.02.24     | 045 (1)   | 0,9973 | 30,65 | 0,08 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,29 | 26,84 | 25,55 |
| 27.02.24     | 045 (2)   | 1,0531 | 29,35 | 0,16 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 3,88 | 24,27 |       |
| 27.02.24     | 005 (1)   | 1,0168 | 29,95 | 0,08 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,12 | 25,72 | 25,53 |
| 27.02.24     | 005 (2)   | 0,9956 | 28,98 | 0,16 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,05 | 25,34 |       |
| 27.02.24     | MGS1 (1)  | 1,0327 | 29,86 | 0,08 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,04 | 25,25 | 25,25 |
| 27.02.24     | MGS1 (2)  | 1,0155 | 29,45 | 0,16 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,04 | 25,25 |       |
| 27.02.24     | MGS2 (1)  | 0,9875 | 29,52 | 0,08 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,18 | 26,10 | 25,97 |
| 27.02.24     | MGS2 (2)  | 1,0204 | 30,27 | 0,16 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,13 | 25,83 |       |
| 27./28.02.24 | 050 (1)   | 1,0521 | 30,37 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,04 | 25,22 | 25,59 |
| 27./28.02.24 | 050 (2)   | 1,0358 | 30,88 | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,15 | 25,96 |       |
| 27./28.02.24 | 014 (1)   | 1,0439 | 33,07 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,43 | 27,68 | 26,78 |
| 27./28.02.24 | 014 (2)   | 1,0454 | 31,06 | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,14 | 25,87 |       |
| 27./28.02.24 | 059 (1)   | 0,9992 | 30,18 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,22 | 26,39 | 26,29 |
| 27./28.02.24 | 059 (2)   | 0,9929 | 29,87 | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,19 | 26,19 |       |
| 27./28.02.24 | 057 (1)   | 1,0269 | 30,13 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,10 | 25,64 | 25,57 |
| 27./28.02.24 | 057 (2)   | 1,0550 | 30,91 | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,08 | 25,51 |       |
| 27./28.02.24 | 062 (1)   | 0,9954 | 31,02 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,36 | 27,23 | 26,98 |
| 27./28.02.24 | 062 (2)   | 1,0385 | 31,88 | 0,17 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,28 | 26,73 |       |
| 07.03.24     | Bio 1 (1) | 1,0330 | 28,10 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 3,80 | 23,77 | 24,19 |
| 07.03.24     | Bio 1 (2) | 1,0480 | 29,52 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 3,94 | 24,61 |       |
| 07.03.24     | 063 (1)   | 0,9858 | 30,20 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,28 | 26,77 | 26,74 |
| 07.03.24     | 063 (2)   | 1,0152 | 31,03 | 0,06 | 1 | 1,4008 | 0,1 | 6,25 | 4,27 | 26,71 |       |

# F: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen sowie Standardkurven der Hydroxyprolin- und Bindegewebs-eiweiß-Bestimmung

Tabelle 16: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen für die Hydroxyprolin- und Bindegewebs-eiweiß-Bestimmung vom 04.04.2024

| Messung am 04.04.24 |               |                |            |            |            |                          |                   |          |  | Auswertung                             |                           |                                     |  |
|---------------------|---------------|----------------|------------|------------|------------|--------------------------|-------------------|----------|--|--|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Probennummer        | Einwaage in g | Einwaage in µL | 1. Messung | 2. Messung | Mittelwert | Mit Abzug der Blindwerte | Standardkurve     |          | Hydroxyprolin errechnet durch Standardkurve in µg/well | Mittelwerte - Hydroxyprolin in µg/well | Hydroxyprolin-Gehalt in % | Mittelwerte - Bindegewebs-eiweiße % |  |
|                     |               |                |            |            |            |                          | γ-Achsenabschnitt | Steigung |  |  |                           |                                     |  |
| 062 (1)             | 0,0125        | 12,5           | 0,294      | 0,294      | 0,294      | 0,2460                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3443   | 0,3484                                 | 0,01974                   | 0,158                               |  |
| 062 (2)             | 0,0125        | 12,5           | 0,300      | 0,301      | 0,301      | 0,2525                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3525   |  |                           |                                     |  |
| 045 (1)             | 0,0121        | 12,1           | 0,216      | 0,217      | 0,217      | 0,1685                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2464   | 0,2515                                 | 0,01469                   | 0,118                               |  |
| 045 (2)             | 0,0121        | 12,1           | 0,223      | 0,226      | 0,225      | 0,1765                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2565   |  |                           |                                     |  |
| 005 (1)             | 0,0095        | 9,5            | 0,242      | 0,242      | 0,242      | 0,1940                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2786   | 0,2900                                 | 0,02132                   | 0,171                               |  |
| 005 (2)             | 0,0095        | 9,5            | 0,259      | 0,261      | 0,260      | 0,2120                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3013   |  |                           |                                     |  |
| 048 (1)             | 0,0115        | 11,5           | 0,242      | 0,243      | 0,243      | 0,1945                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2792   | 0,2811                                 | 0,01723                   | 0,138                               |  |
| 048 (2)             | 0,0115        | 11,5           | 0,244      | 0,247      | 0,246      | 0,1975                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2830   |  |                           |                                     |  |
| 060 (1)             | 0,0127        | 12,7           | 0,263      | 0,265      | 0,264      | 0,2160                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3064   | 0,3121                                 | 0,01742                   | 0,139                               |  |
| 060 (2)             | 0,0127        | 12,7           | 0,270      | 0,276      | 0,273      | 0,2250                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3178   |  |                           |                                     |  |
| 052 (1)             | 0,0148        | 14,8           | 0,252      | 0,252      | 0,252      | 0,2040                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2912   | 0,2893                                 | 0,01400                   | 0,112                               |  |
| 052 (2)             | 0,0148        | 14,8           | 0,247      | 0,251      | 0,249      | 0,2010                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2874   |  |                           |                                     |  |
| 059 (1)             | 0,0116        | 11,6           | 0,197      | 0,198      | 0,198      | 0,1495                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2224   | 0,2262                                 | 0,01375                   | 0,110                               |  |
| 059 (2)             | 0,0116        | 11,6           | 0,203      | 0,204      | 0,204      | 0,1555                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2300   |  |                           |                                     |  |
| MG51 (1)            | 0,0143        | 14,3           | 0,227      | 0,226      | 0,227      | 0,1785                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2590   | 0,2578                                 | 0,01288                   | 0,103                               |  |
| MG51 (2)            | 0,0143        | 14,3           | 0,224      | 0,225      | 0,225      | 0,1765                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2565   |  |                           |                                     |  |
| 057 (1)             | 0,0154        | 15,4           | 0,336      | 0,336      | 0,336      | 0,2880                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3973   | 0,4434                                 | 0,02067                   | 0,165                               |  |
| 057 (2)             | 0,0154        | 15,4           | 0,408      | 0,410      | 0,409      | 0,3610                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,4895   |  |                           |                                     |  |
| 063 (1)             | 0,0137        | 13,7           | 0,278      | 0,287      | 0,283      | 0,2345                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3298   | 0,3512                                 | 0,01826                   | 0,146                               |  |
| 063 (2)             | 0,0137        | 13,7           | 0,313      | 0,320      | 0,317      | 0,2685                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3727   |  |                           |                                     |  |
| MG52 (1)            | 0,0161        | 16,1           | 0,297      | 0,309      | 0,303      | 0,2550                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3556   | 0,3686                                 | 0,01649                   | 0,132                               |  |
| MG52 (2)            | 0,0161        | 16,1           | 0,328      | 0,319      | 0,324      | 0,2755                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,3815   |  |                           |                                     |  |
| 050 (1)             | 0,0108        | 10,8           | 0,223      | 0,227      | 0,225      | 0,1770                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2571   | 0,2641                                 | 0,01718                   | 0,137                               |  |
| 050 (2)             | 0,0108        | 10,8           | 0,232      | 0,240      | 0,236      | 0,1880                   | 0,0266            | 0,7918   | 0,2710   |  |                           |                                     |  |

Tabelle 17: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 04.04.2024 (roh)

**Messergebnisse - Standard - Roh:**

| Hydroxyprolin-konzentration in µg/well | Standard 1 | Standard 2 | Blindwert |
|--|------------|------------|-----------|
| 0                                      | 0,047      | 0,049      | 0,048     |
| 0,2                                    | 0,181      | 0,188      |           |
| 0,4                                    | 0,331      | 0,318      |           |
| 0,6                                    | 0,521      | 0,510      |           |
| 0,8                                    | 0,623      | 0,657      |           |
| 1,0                                    | 0,788      | 0,849      |           |

Tabelle 18: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 04.04.2024 (mit Abzug des Blindwertes)

**Messergebnisse - Standard - mit BW abgezogen:**

| Hydroxyprolin-konzentration in µg/well | Standard - Mittelwerte | Standard 1 | Standard 2 |
|--|------------------------|------------|------------|
| 0                                      | 0,000                  | 0,000      | 0,000      |
| 0,2                                    | 0,136                  | 0,134      | 0,139      |
| 0,4                                    | 0,277                  | 0,284      | 0,269      |
| 0,6                                    | 0,467                  | 0,474      | 0,461      |
| 0,8                                    | 0,592                  | 0,576      | 0,608      |
| 1,0                                    | 0,770                  | 0,741      | 0,800      |

(gezeichnet)

Abbildung 8: Darstellung der linearen Standardkurve im Koordinatensystem erstellt aus den Messergebnissen vom 04.04.2024

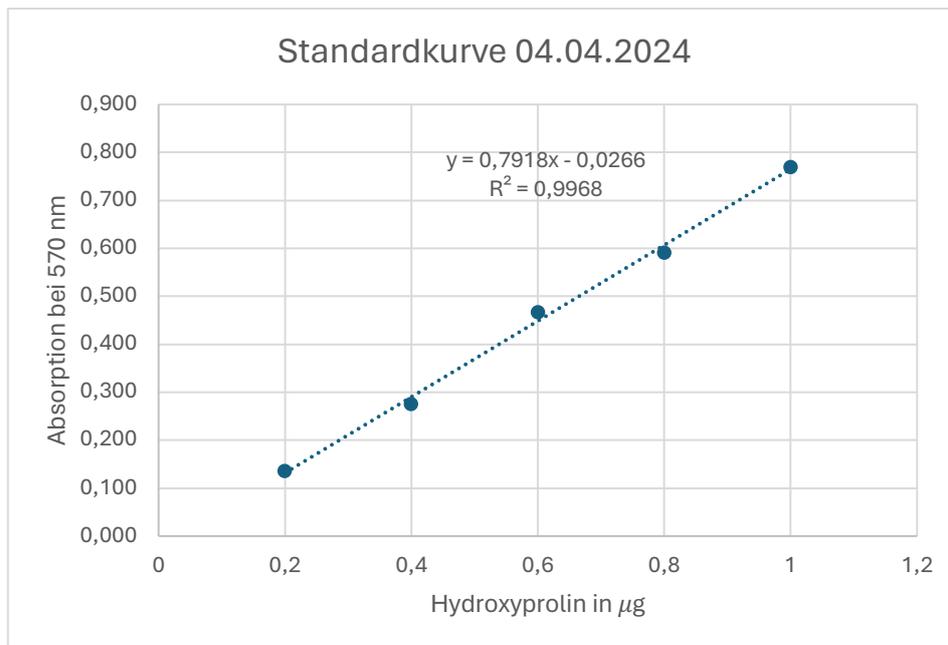


Tabelle 19: Vollständige Ergebnis- und Rechentabellen für die Hydroxyprolin- und Bindegewebs-eiweißgehalt Bestimmung vom 05.05.2024

| Messung am 05.05.24 |               |                |            |            |            |                           |                   |          |  | Auswertung                             |                           |                               |  |  |
|---------------------|---------------|----------------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------------|----------|--|--|---------------------------|-------------------------------|--|--|
| Probennummer        | Einwaage in g | Einwaage in µL | 1. Messung | 2. Messung | Mittelwert | Mit Abzug des Blindwertes | Standardkurve     |          | Hydroxyprolin errechnet durch Standardkurve in µg/well | Mittelwerte - Hydroxyprolin in µg/well | Hydroxyprolin-Gehalt in % | Bindegewebs-eiweißgehalt in % |  |  |
|                     |               |                |            |            |            |                           | Y-Achsenabschnitt | Steigung |  |  |                           |                               |  |  |
| 064 (1)             | 0,0102        | 10,2           | 0,218      | 0,220      | 0,219      | 0,1725                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3019   | 0,2972                                 | 0,02042                   | 0,163                         |  |  |
| 064 (2)             | 0,0102        | 10,2           | 0,212      | 0,212      | 0,212      | 0,1655                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2926   |  |                           |                               |  |  |
| 043 (1)             | 0,0127        | 12,7           | 0,197      | 0,197      | 0,197      | 0,1505                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2728   | 0,2860                                 | 0,01597                   | 0,128                         |  |  |
| 043 (2)             | 0,0127        | 12,7           | 0,217      | 0,217      | 0,217      | 0,1705                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2992   |  |                           |                               |  |  |
| B1 (1)              | 0,0126        | 12,6           | 0,269      | 0,270      | 0,270      | 0,2230                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3687   | 0,3832                                 | 0,02155                   | 0,172                         |  |  |
| B1 (2)              | 0,0126        | 12,6           | 0,291      | 0,292      | 0,292      | 0,2450                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3978   |  |                           |                               |  |  |
| KS2 (1)             | 0,0112        | 11,2           | 0,194      | 0,195      | 0,195      | 0,1480                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2694   | 0,2823                                 | 0,01775                   | 0,142                         |  |  |
| KS2 (2)             | 0,0112        | 11,2           | 0,214      | 0,214      | 0,214      | 0,1675                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2952   |  |                           |                               |  |  |
| 006 (1)             | 0,0140        | 14,0           | 0,260      | 0,261      | 0,261      | 0,2140                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3567   | 0,3567                                 | 0,01818                   | 0,145                         |  |  |
| 006 (2)             | 0,0140        | 14,0           | 0,261      | 0,260      | 0,261      | 0,2140                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3567   |  |                           |                               |  |  |
| 058 (1)             | 0,0120        | 12,0           | 0,212      | 0,215      | 0,214      | 0,1670                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2946   | 0,2969                                 | 0,01748                   | 0,140                         |  |  |
| 058 (2)             | 0,0120        | 12,0           | 0,217      | 0,217      | 0,217      | 0,1705                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2992   |  |                           |                               |  |  |
| 049 (1)             | 0,0103        | 10,3           | 0,230      | 0,233      | 0,232      | 0,1850                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3184   | 0,3058                                 | 0,02081                   | 0,167                         |  |  |
| 049 (2)             | 0,0103        | 10,3           | 0,213      | 0,212      | 0,213      | 0,1660                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2933   |  |                           |                               |  |  |
| 046 (1)             | 0,0111        | 11,1           | 0,250      | 0,253      | 0,252      | 0,2050                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3448   | 0,3359                                 | 0,02129                   | 0,170                         |  |  |
| 046 (2)             | 0,0111        | 11,1           | 0,238      | 0,238      | 0,238      | 0,1915                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3270   |  |                           |                               |  |  |
| 056 (1)             | 0,0098        | 9,8            | 0,473      | 0,473      | 0,473      | 0,4265                    | 0,0557            | 0,756    | 0,6378   | 0,6140                                 | 0,04382                   | 0,351                         |  |  |
| 056 (2)             | 0,0098        | 9,8            | 0,437      | 0,437      | 0,437      | 0,3905                    | 0,0557            | 0,756    | 0,5902   |  |                           |                               |  |  |
| 019 (1)             | 0,0121        | 12,1           | 0,182      | 0,183      | 0,183      | 0,1360                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2536   | 0,2532                                 | 0,01480                   | 0,118                         |  |  |
| 019 (2)             | 0,0121        | 12,1           | 0,181      | 0,183      | 0,182      | 0,1355                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2529   |  |                           |                               |  |  |
| 065 (1)             | 0,0118        | 11,8           | 0,286      | 0,285      | 0,286      | 0,2390                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3898   | 0,4097                                 | 0,02451                   | 0,196                         |  |  |
| 065 (2)             | 0,0118        | 11,8           | 0,288      | 0,343      | 0,316      | 0,2690                    | 0,0557            | 0,756    | 0,4295   |  |                           |                               |  |  |
| 014 (1)             | 0,0112        | 11,2           | 0,191      | 0,190      | 0,191      | 0,1440                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2642   | 0,2645                                 | 0,01662                   | 0,133                         |  |  |
| 014 (2)             | 0,0112        | 11,2           | 0,189      | 0,193      | 0,191      | 0,1445                    | 0,0557            | 0,756    | 0,2648   |  |                           |                               |  |  |
| 021 (1)             | 0,0119        | 11,9           | 0,323      | 0,323      | 0,323      | 0,2765                    | 0,0557            | 0,756    | 0,4394   | 0,4391                                 | 0,02606                   | 0,208                         |  |  |
| 021 (2)             | 0,0119        | 11,9           | 0,322      | 0,323      | 0,323      | 0,2760                    | 0,0557            | 0,756    | 0,4388   |  |                           |                               |  |  |
| 022 (1)             | 0,0113        | 11,3           | 0,274      | 0,262      | 0,268      | 0,2215                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3667   | 0,3650                                 | 0,02275                   | 0,182                         |  |  |
| 022 (2)             | 0,0113        | 11,3           | 0,266      | 0,265      | 0,266      | 0,2190                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3634   |  |                           |                               |  |  |
| B2 (1)              | 0,0104        | 10,4           | 0,223      | 0,225      | 0,224      | 0,1775                    | 0,0557            | 0,756    | 0,3085   | 0,3104                                 | 0,02094                   | 0,167                         |  |  |

|         |        |      |       |       |       |        |        |       |        |        |         |       |
|---------|--------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|-------|
| B2 (2)  | 0,0104 | 10,4 | 0,229 | 0,225 | 0,227 | 0,1805 | 0,0557 | 0,756 | 0,3124 |        |         |       |
| 061 (1) | 0,0114 | 11,4 | 0,296 | 0,295 | 0,296 | 0,2490 | 0,0557 | 0,756 | 0,4030 |        |         |       |
| 061 (2) | 0,0114 | 11,4 | 0,286 | 0,286 | 0,286 | 0,2395 | 0,0557 | 0,756 | 0,3905 | 0,3968 | 0,02452 | 0,196 |
| 066 (1) | 0,0141 | 14,1 | 0,262 | 0,262 | 0,262 | 0,2155 | 0,0557 | 0,756 | 0,3587 |        |         |       |
| 066 (2) | 0,0141 | 14,1 | 0,273 | 0,274 | 0,274 | 0,2270 | 0,0557 | 0,756 | 0,3739 | 0,3663 | 0,01854 | 0,148 |
| 020 (1) | 0,0111 | 11,1 | 0,179 | 0,169 | 0,174 | 0,1275 | 0,0557 | 0,756 | 0,2423 |        |         |       |
| 020 (2) | 0,0111 | 11,1 | 0,184 | 0,181 | 0,183 | 0,1360 | 0,0557 | 0,756 | 0,2536 | 0,2479 | 0,01572 | 0,126 |
| 047 (1) | 0,0128 | 12,8 | 0,208 | 0,208 | 0,208 | 0,1615 | 0,0557 | 0,756 | 0,2873 | 0,2906 | 0,01610 | 0,129 |
| 047 (2) | 0,0128 | 12,8 | 0,211 | 0,215 | 0,213 | 0,1665 | 0,0557 | 0,756 | 0,2939 |        |         |       |
| KS1 (1) | 0,0115 | 11,5 | 0,155 | 0,154 | 0,155 | 0,1080 | 0,0557 | 0,756 | 0,2165 |        |         |       |
| KS1 (2) | 0,0115 | 11,5 | 0,159 | 0,160 | 0,160 | 0,1130 | 0,0557 | 0,756 | 0,2231 | 0,2198 | 0,01348 | 0,108 |
| 055 (1) | 0,0109 | 10,9 | 0,195 | 0,199 | 0,197 | 0,1505 | 0,0557 | 0,756 | 0,2728 |        |         |       |
| 055 (2) | 0,0109 | 10,9 | 0,192 | 0,189 | 0,191 | 0,1440 | 0,0557 | 0,756 | 0,2642 | 0,2685 | 0,01731 | 0,139 |

Tabelle 20: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 05.05.2024 (roh)

**Messergebnisse - Standard - Roh:**

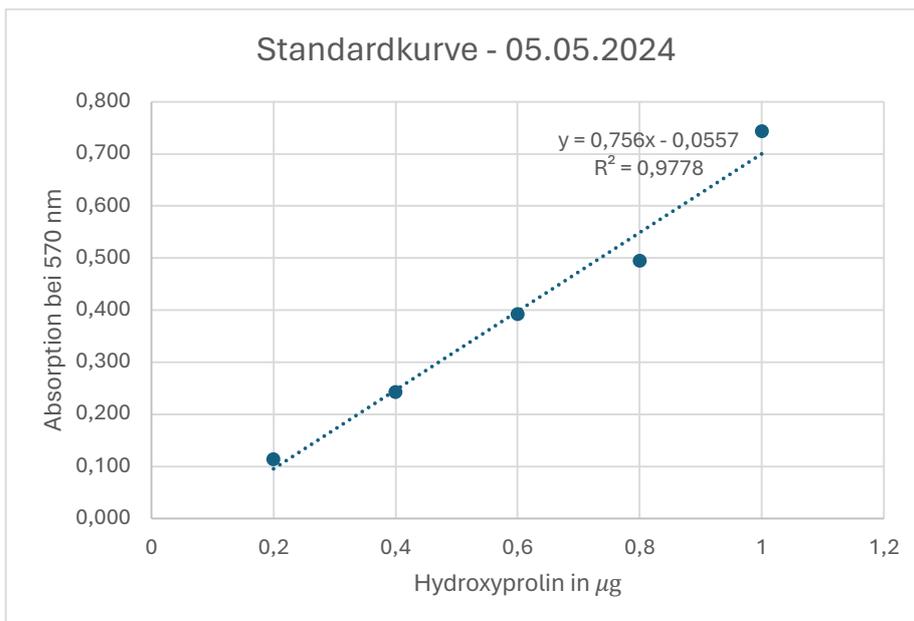
| Hydroxyprolin-konzentration in µg/well | Standard 1 | Standard 2 | Blindwert |
|--|------------|------------|-----------|
| 0                                      | 0,047      | 0,046      | 0,047     |
| 0,2                                    | 0,160      | 0,162      |           |
| 0,4                                    | 0,287      | 0,292      |           |
| 0,6                                    | 0,456      | 0,424      |           |
| 0,8                                    | 0,540      | 0,544      |           |
| 1,0                                    | 0,654      | 0,928      |           |

Tabelle 21: Messergebnisse der Hydroxyprolin-Standards zur Erstellung der Standardkurve vom 05.05.2024 (mit Abzug des Blindwertes)

**Messergebnisse - Standard - mit BW abgezogen:**

| Hydroxyprolin-konzentration in µg/well | Standard - Mittelwert | Standard 1 | Standard 2 |
|--|-----------------------|------------|------------|
| 0                                      | 0,000                 | 0,000      | 0,000      |
| 0,2                                    | 0,115                 | 0,113      | 0,116      |
| 0,4                                    | 0,243                 | 0,240      | 0,246      |
| 0,6                                    | 0,393                 | 0,409      | 0,378      |
| 0,8                                    | 0,496                 | 0,493      | 0,498      |
| 1,0                                    | 0,744                 | 0,607      | 0,882      |
|  | (gezeichnet)          |            |            |

Abbildung 9: Darstellung der linearen Standardkurve im Koordinatensystem erstellt aus den Messergebnissen vom 05.05.2024



## G: Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Wedel, den 22.08.2024



Miriam Knautz