

**„Modellierung der Bedingungen beim Schneiden
insbesondere in einer Wolfmaschine mit dem Ziel
der Optimierung des Zerkleinerungsprozesses sowie
der Erhöhung der Produktqualität“**

Dissertation

zur Erlangung des
Doktorgrades der Ernährungswissenschaften (Dr. troph.)

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
der Agrar- und Ernährungswissenschaften, Geowissenschaften und Informatik
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplom-Ökotrophologin (FH)
Janet Krickmeier

geboren am 20.09.1972
in Bernburg

Verteidigung am: 12.10.2015

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Wim Wätjen
Prof. Dr. Ing. Dr. h. c. Wolfram Schnäckel
Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Peter Dültgen

Halle / Saale 2015

Meinen Eltern.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Literaturübersicht und Ableitung von Arbeitsthesen	3
2.1	Wolfmaschinen – Eine Zerkleinerungstechnik.....	3
2.1.1	Mechanische Grundvorgänge für Zerkleinerungsprozesse.....	4
2.1.1.1	Zerkleinerungsprozesse – Allgemeine Grundprinzipien des Schneidens.....	8
2.1.1.2	Das Zerkleinerungsprinzip „rotatorischer Scherschnitt“.....	8
2.1.1.3	Das Zerkleinerungsprinzip „fester Messerschnitt“.....	10
2.1.2	Wolfmaschinen – Prinzipieller Aufbau und Funktionsweise.....	10
2.1.2.1	Schubkraft und Kraftübertragung – Das Wechselspiel zwischen Schnecke, Schneckengehäuse und Rohstoff.....	12
2.1.2.2	Die Rohstoffübergabe an die Werkzeuge.....	14
2.1.2.3	Die Werkzeugsysteme.....	16
2.1.2.4	Der Zerkleinerungsprozess – Das Zusammenspiel von Schubkraft und Werkzeugsystemen.....	20
2.1.2.5	Die Trennsätze – Wirkungsweise und Einfluss auf die Qualität.....	22
2.2	Der Rohstoff Fleisch.....	23
2.2.1	Definitionen und Begrifflichkeiten.....	23
2.2.2	Anforderungen an die zu verarbeitenden Rohstoffe und herzustellenden Erzeugnisse – insbesondere bei der Brühwurstherstellung.....	27
2.3	Funktionelle Eigenschaften und Stoffmechanik von tierischen Geweben und Brühwurstbrät als Grundlage zur Entwicklung effizienterer Schneidsysteme.....	33
2.4	Einfluss von Zerkleinerungsprozessen auf relevante qualitative und ernährungsphysiologische Eigenschaften von Fleisch und Fleischprodukten.....	41
2.4.1	Beeinflussung qualitativer Eigenschaften von Brühwurstbrät.....	42
2.4.1.1	Einfluss der Temperatur.....	42
2.4.1.2	Einfluss des Wasserbindevermögens.....	42
2.4.1.3	Einfluss des Fettbindevermögens.....	43
2.4.1.4	Sensorische Eigenschaften von Brühwürsten.....	44
2.4.2	Beeinflussung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Brühwürsten.....	44
2.5	Ableitung von Arbeitsthesen für die eigene Arbeit.....	46
3	Material und Methoden	48
3.1	Allgemeines Versuchsdesign.....	48

3.1.1	Grundlagenversuche – Untersuchte Rohstoffe und verwendete Zerkleinerungstechniken.....	51
3.1.1.1	Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für eine Lochscheibenbohrung in den Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs.....	53
3.1.1.2	Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für eine Lochscheibe in den Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs.....	56
3.1.1.3	Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für einen 2-teiligen Schneidsatz in den Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs.....	58
3.1.2	Versuchsserien der Technikumsversuche – Untersuchte Rohstoffe und verwendete Zerkleinerungstechniken am Beispiel der Herstellung von Bockwurst.....	61
3.1.2.1	Versuchsbedingungen im Rahmen der drei Versuchsserien der Technikumsversuche mit dem neuartigen Feinbräutomaten.....	63
3.1.2.2	Versuchsbedingungen mit einem herkömmlichen Kutter im Rahmen der Versuchsserien des 2. und 3. Technikumsversuchs.....	69
3.2	Verwendete Untersuchungsmethoden.....	71
3.2.1	Ermittlung der Teilarbeiten für die Zerkleinerung an einer Lochscheibenbohrung sowie mittels einer Lochscheibe im Rahmen der Versuchsserien des 1. Grundlagenversuchs.....	71
3.2.2	Ermittlung der Zerkleinerungsleistung eines 2-teiligen Schneidsatzes im Rahmen der Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs.....	72
3.2.3	Bewertung der in den Versuchsserien der Technikumsversuche hergestellten Wurstbräte und Bockwürste.....	73
3.2.3.1	Sensorische Untersuchungsmethoden.....	74
3.2.3.2	Untersuchung des pH-Wertes.....	76
3.2.3.3	Untersuchung des Wasserbindungsvermögens.....	77
3.2.3.4	Untersuchung der Emulsionsstabilität.....	79
3.2.3.5	Instrumentelle Texturmessung mittels Scherversuch und Penetrationsmethode.....	79
3.2.3.6	Untersuchung der Farbkennwerte.....	82
3.2.3.7	Ermittlung des Gesamtwassergehalts.....	84
3.2.3.8	Ermittlung des Fettgehalts.....	85
3.2.3.9	Ermittlung der thiobarbitursäure-reaktive Substanzen.....	86
3.2.3.10	Durchführung der Temperaturmessung in den Technikumsversuchen.....	87
3.2.3.11	Durchführung der Druckmessung in den Technikumsversuchen.....	88

3.2.3.12	Statistische Datenauswertung.....	88
4	Ergebnisse und Diskussion.....	92
4.1	Versuchsserien des 1. Grundlagenversuchs – Darstellung der Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Teilarbeiten.....	92
4.1.1	Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit für eine Lochscheibenbohrung.....	92
4.1.2	Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit für eine Lochscheibe.....	98
4.1.2.1	Beschreibung des Eindringverhaltens von Fleisch in die Bohrungen einer Lochscheibe.....	98
4.1.2.2	Beschreibung der Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Einzelarbeiten für eine Lochscheibe.....	101
4.2	Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs – Abhängigkeit der Teilarbeiten sowie der Zerkleinerungsleistung von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern.....	107
4.2.1	Abhängigkeit der Teilarbeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung.....	107
4.2.1.1	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Faserorientierung.....	107
4.2.1.2	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Verarbeitungstemperatur.....	109
4.2.1.3	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Schneidgeschwindigkeit.....	110
4.2.1.4	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Tier- und Gewebeart.....	111
4.2.2	Abhängigkeit der Teilarbeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern beim Scheren mittels einer Lochscheibe.....	113
4.2.2.1	Besonderheiten bei Zerkleinerungsvorgängen mittels einer Lochscheibe und deren Konsequenzen.....	113
4.2.2.2	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Vorzerkleinerungsintensität.....	115
4.2.2.3	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten vom Förderdruck.....	116
4.2.2.4	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten vom Bohrungsdurchmesser.....	118
4.2.2.5	Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Tierart.....	119

4.2.3	Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern für einen 2-teiligen Schneidsatz.....	120
4.2.3.1	Besonderheiten bei Zerkleinerungsvorgängen in einem 2-teiligen Schneidsatz und deren Konsequenzen.....	121
4.2.3.2	Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Vorzerkleinerungsintensität.....	122
4.2.3.3	Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Verarbeitungstemperatur.....	125
4.2.3.4	Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung vom Bohrungsdurchmesser und Förderdruck.....	127
4.2.3.5	Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Tierart.....	130
4.3	Versuchsserien des 1. Technikumsversuchs – Ableitung von Anforderungen an die Werkzeuge sowie von verarbeitungsrelevanten Anforderungen.....	132
4.3.1	Werkzeuganforderungen – Bestimmung des Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz.....	132
4.3.2	Verarbeitungsrelevanten Anforderungen – Verhältnis von Rohstoffvorschub zur Messerwellendrehzahl.....	135
4.4	Versuchsserien des 2. Technikumsversuchs – Untersuchung der Oxidationsstabilität von Bockwürsten im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter zur Herstellung von Wurstbrät.....	139
4.5	Versuchsserien des 3. Technikumsversuchs – Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter zur Herstellung von Wurstbrät bezüglich der sensorischen und ernährungsphysiologischen Qualität der erzeugten Bockwürste.....	142
4.5.1	Vergleich der sensorischen Qualität.....	142
4.5.2	Vergleich der ernährungsphysiologischen Qualität.....	150
5	Schlussfolgerungen	152
6	Praktischer Nutzen der Ergebnisse	159
7	Zusammenfassung	160
8	Summary	162
	Publikationsliste	164
	Literaturverzeichnis	166
	Anhang	194

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung wichtiger Zerkleinerungsverfahren (KAUFMANN und THIEME, 1957).....	4
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des qualitativen Verlaufs der Schneidkraft über den Schneidweg beim Scherschneiden von Metall (KLOCKE und KÖNIG, 2006).....	5
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Kraftverlaufs während des Schneidens (DOWGIALLO, 2005; CIULICĂ et al., 2011).....	6
Abbildung 4:	Schematische Darstellung der an einer Messerschneide wirkenden Kräfte (TSCHEUSCHNER, 2004).....	7
Abbildung 5:	Schematische Darstellung des rotatorischen Scherschnitts und der wirkenden Zerkleinerungselemente in einer Wolfmaschine (eigene Darstellung).....	9
Abbildung 6:	Beispielhafter Aufbau und Bauelemente eines Standardwolfs (PRÄNDL et al., 1988).....	11
Abbildung 7:	Beispielhafter Aufbau der Schnecke in einem Wolf (TIANGUANG, 2008).....	12
Abbildung 8:	Schematische Darstellung des vermuteten Kraftübertragungsvorgangs und der Scherkraftwirkung durch die Arbeitsschnecke im Schneckengehäuse (HAACK und HAACK, 2009a).....	13
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der theoretischen Rohstoffmengen in den einzelnen Bereichen des Fleischwolfs (HAACK und HAACK, 2009a).....	15
Abbildung 10:	Schematische Darstellung des Arbeitsschemas eines 5-teiligen Schneidsatzes (HAACK und HAACK, 2009a).....	16

Abbildung 11:	Beispielhafte Darstellung von Problemen beim Wolfen mit nicht auf den Rohstoff abgestimmter Technik (links: inhomogene Zerkleinerung und Durchmischung) oder durch ungünstige Maschineneinstellungen (Mitte: Versehnung; rechts: erhöhter Werkzeugverschleiß), (eigene Darstellung).....	17
Abbildung 12:	Schematische Darstellung der Zerkleinerungsqualität der Fleischzäpfchen bei dicken (links) und dünnen (rechts) Lochscheiben (HAACK et al., 1999b und 2003b).....	20
Abbildung 13:	Schematischer Ablauf der Fleischzäpfchenbildung beim Wolfen (TIANGUANG, 2008).....	22
Abbildung 14:	Beispielhafte Darstellung für einen Trennsatz mit zentraler sowie seitlicher Ausleitung (N.N., 2010d).....	23
Abbildung 15:	Darstellung einiger wesentlicher Qualitätsparameter für Fleisch (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002).....	26
Abbildung 16:	Darstellung einiger Einflussfaktoren auf die Fleischqualität (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002).....	27
Abbildung 17:	Mittels Fleischwolf hergestellte Massen für verschiedene Verwendungszwecke (eigene Darstellung).....	32
Abbildung 18:	Versuchs- und Messvorrichtung mit Warner-Bratzler-Schere zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung).....	53
Abbildung 19:	Verwendete Faserorientierungen für Muskelgewebe (A-C) sowie für das untersuchte Fettgewebe (D) zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 20:	Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens an einer Lochscheibe (eigene Darstellung).....	56
Abbildung 21:	Verwendete Muskelgewebe zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens an einer Lochscheibe (eigene Darstellung).....	58

Abbildung 22: Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens mit einem 2-teiligen Schneidsatz (eigene Darstellung).....	59
Abbildung 23: Verwendete Fleisch- und Fettrohstoffe (von links: S II, S VI und S IV) in den Serien der Technikumsversuche zur Herstellung von Bockwurst (eigene Darstellung).....	61
Abbildung 24: Grundrezeptur für eine 10 kg-Charge und Berechnung der Wasser-, Fett-, FE- und BEFFE-Kennwerte nach GEHA in den Serien der Technikumsversuche zur Herstellung von Bockwurst (in Anlehnung an BUCKENHÜSKES et al., 2001).....	62
Abbildung 25: Prinzipielles Ablaufschema der Brät- und Bockwurstherstellung (eigene Darstellung).....	63
Abbildung 26: Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens mit dem 17-teiligen Feinbräutomaten (mit beispielhaften Werkzeugen, (eigene Darstellung)).....	64
Abbildung 27: Ablaufschema der Brätherstellung mit dem Feinbräutomaten in den Versuchsserien der Technikumsversuche (eigene Darstellung).....	67
Abbildung 28: Verwendete Standardtechnik Kutter für den Technikvergleich (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 29: Ablaufschema der Brätherstellung mit der Standardtechnik Kutter (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 30: Beispiel für ein Integral als Fläche unter der Funktionskurve in einem Intervall (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Ausprägung einzelner Fleischzäpfchen beim Austritt aus einem 2-teiligen Schneidsatz (links und Mitte) und der durch die 4 Messerbalken beeinflussten Bohrungen (rechts: Ansicht von unten, (eigene Darstellung)).....	72
Abbildung 32: Zartheitsfaktoren - Strukturelle Elemente der Fleischtextur (vereinfachte Darstellung nach KREUZER et al., 2008).....	80

Abbildung 33:	Beispiel für die Wiedergabe von signifikanten Unterschieden in den Abbildungen (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 34:	Beispiel für die Wiedergabe von signifikanten Unterschieden in den Tabellen (eigene Darstellung).....	91
Abbildung 35:	Schematische Darstellung einer Kraft-Weg-Kurve sowie deren prinzipielle Auswertung zur Ermittlung der Teilarbeiten beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung kombiniert mit SCHNÄCKEL et al., 2011a).....	93
Abbildung 36:	Schematische Darstellung der Herangehensweise bei der Integralbildung für die Kompressionskurve $F_1(x)$ und Reibungskurve $F_2(x)$ mit den kurvencharakteristischen Parametern für das Zerkleinern in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung).....	94
Abbildung 37:	Durch eine Lochscheibe mit 3 mm Bohrungsdurchmesser gepresstes Muskelgewebe (links) und Fettgewebe (rechts) vom Schwein mit den ausgebildeten Fleischzäpfchen (eigene Darstellung).....	100
Abbildung 38:	Zustandekommen der Verschiebungsarbeit beim Zerkleinern von Fleisch mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung in Kombination mit KRICKMEIER et al., 2012).....	102
Abbildung 39:	Schematische Darstellung einer Scherkurve (A) und deren prinzipielle Auswertung (B) zur Ermittlung der Teilarbeiten beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung)	103
Abbildung 40:	Schematische Darstellung einer Gesamtkraftkurve (A, B) und deren prinzipielle Auswertung zur Ermittlung der Scherkurve (C) beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung).....	104
Abbildung 41:	Schematische Darstellung einer Reibungskurve (A) und deren prinzipielle Auswertung zur Bestimmung der Systemreibung und der realen Reibungsarbeit (B) beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung).....	105
Abbildung 42:	Einfluss der Faserorientierung auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung.....	108

Abbildung 43:	Einfluss der Verarbeitungstemperatur auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung.....	109
Abbildung 44:	Einfluss der Gewebe- bzw. Tierart auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung.....	112
Abbildung 45:	Relevante Situationen der Fleischzäpfchenbildung beim Scheren an einer Lochscheibe (eigene Darstellung).....	114
Abbildung 46:	Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe.....	116
Abbildung 47:	Einfluss des Förderdrucks auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe.....	117
Abbildung 48:	Einfluss der Tierart auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe.....	120
Abbildung 49:	Relevante Situationen der Fleischzäpfchenbildung beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz (eigene Darstellung).....	121
Abbildung 50:	Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz.....	123
Abbildung 51:	Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz.....	124
Abbildung 52:	Einfluss der Verarbeitungstemperatur und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz.....	126
Abbildung 53:	Einfluss der Verarbeitungstemperatur und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz.....	127
Abbildung 54:	Einfluss des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz (n = 10).....	129

Abbildung 55: Einfluss des Förderdrucks und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer (n = 10).....	130
Abbildung 56: Einfluss der Tierart, des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz.....	131
Abbildung 57: Definierte Unter- und Obergrenzen für den Vorschub und die Messerwellendrehzahl sowie die abgeleitete Kennlinie für sensorisch gute Qualitäten.....	136
Abbildung 58: Kennwerte des Scherversuchs im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	146
Abbildung 59: Bockwürste der Warmverkostung nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter (eigene Darstellung).....	148
Abbildung 60: Farbabstand ΔE im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	149

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung wichtiger Qualitätsmerkmale und Verarbeitungseigenschaften von Fleisch (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002 und RIMBACH, 2010).....	29
Tabelle 2:	Übersicht über die durchgeführten Versuchsserien, deren Zielstellung und die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge.....	49
Tabelle 3:	Übersicht über die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge, untersuchten Rohstoffe und verarbeitungstechnischen Parameter im Rahmen der Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs.....	52
Tabelle 4:	Übersicht über die Versuchsbedingungen in den Versuchsserien der Technikumsversuche zur Herstellung von Wurstbrät und Bockwurst mit dem Feinbräutomaten.....	68
Tabelle 5:	Charakterisierung der im 2-teiligen Schneidsatz verwendeten Lochscheiben.....	73
Tabelle 6:	Spezifikationen der Prüfkörper bei der Penetrationsmessung.....	82
Tabelle 7:	Auflistung der für die Ermittlung des Kurvenverlaufs der Kompressionskurve $F1(x)$ und Reibungskurve $F2(x)$ verwendeten Formeln.....	95
Tabelle 8:	Einfluss der Schneidgeschwindigkeit auf die Teilarbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C	111
Tabelle 9:	Anteil an Proben (%), welche beim Zerkleinern von Schweine- und Putenmuskel mittels einer Lochscheibe einem Durchfluss unterlagen ($n = 10$).....	115
Tabelle 10:	Einfluss des Bohrungsdurchmessers auf die relativen (%) und absoluten (Nm/cm^2) Teilarbeiten beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe für einen Förderdruck von 3 bar bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$	118
Tabelle 11:	Charakterisierung der verwendeten Lochscheiben beim Scheren mittels einer Lochscheibe.....	119

Tabelle 12: Anteil an Proben (%), welche beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ einem Durchfluss unterlagen (n = 10).....	122
Tabelle 13: Anteil an Proben (%), welche beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C einem Durchfluss unterlagen (n = 10).....	122
Tabelle 14: Einfluss des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C und einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$	128
Tabelle 15: Einfluss des Bohrungsdurchmessers der Endlochscheibe im Emulgiersatz auf die sensorische Qualität der Bockwurst (Kaltverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbrätautomaten hergestellten Wurstbrät.....	133
Tabelle 16: Einfluss des Bohrungsdurchmessers der Endlochscheibe im Emulgiersatz auf technologische Eigenschaften von mit dem Feinbrätautomaten hergestelltem Wurstbrät.....	134
Tabelle 17: Bewertung der sensorischen Qualität der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbrätautomaten erzeugten Wurstbrät.....	137
Tabelle 18: Technologische Eigenschaften und Texturkennwerte der mit dem Feinbrätautomaten erzeugten Wurstbräte bzw. der daraus hergestellten Bockwürste für sensorisch gute und schlechte Qualitäten.....	138
Tabelle 19: TBARS-Gehalt (mg MDA pro kg) als Indikator für die Oxidationsstabilität von Bockwurst im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter über die Lagerzeit.....	139
Tabelle 20: Bewertung der sensorischen Qualität der erzeugten Bockwürste (Warmverkostung) über die Lagerzeit im Rahmen der Konsensprüfung im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	143

Tabelle 21: Wasserbindevermögen (%) der hergestellten Wurstbräte sowie der daraus erzeugten Bockwürste nach 24 Stunden Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	144
Tabelle 22: Temperaturdifferenz (K) und Druck (bar) bei der Herstellung von Wurstbrät im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	145
Tabelle 23: Penetrationshärte (N/m ²) der hergestellten Wurstbräte sowie der daraus erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	147
Tabelle 24: Farbkennwerte L, a und b der erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	147
Tabelle 25: Wasser- und Fettgehalt (%) der erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter.....	150

Glossar

Abkürzungen

BE	Bindegewebeseiweiß (Kollagene)
BEFFE	Bindegewebeseiweißfreies Fleischeiweiß (Muskeleiweiß)
d	Tag/Tage
D	Dicke
DFD	Qualitätsmerkmal von Fleisch: dark, firm and dry (dunkel, fest und trocken)
DLG	Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft
ES	Emulsionsstabilität
FBA	Feinbrätautomat
FE	Fleischeiweiß (FE = BEFFE + BE)
FG	Freiheitsgerade
GEHA	Verarbeitungsmaterialstandards
h	Stunde/Stunden
K	Kelvin
KHM	Kutterhilfsmittel
l	Faserorientierung längs
L	Länge
LMHV	Lebensmittel- und Hygiene-Verordnung
LS	Lochscheibe (angegeben mit Bohrungsdurchmesser)
MDA	Malondialdehyd
MWDZ	Messerwellendrehzahl
NPS	Nitritpökelsalz
PH	Penetrationshärte

p. m.	post mortem
PSE	Qualitätsmerkmal von Fleisch: pale, soft and exudative (blass, weich und wässrig)
q	Faserorientierung quer
s	Faserorientierung senkrecht
S II	Schweinefleisch der GEHA-Klasse 2
S IV	Schweinefleisch der GEHA-Klasse 4
S VI	Schweinefleisch der GEHA-Klasse 6
TBA	Thiobarbitursäure
TBARS	Thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen
V	Vorschneider
VO	Verordnung
VS	Vorschub
WBS	Warner-Bratzler-Schere (Öffnung als gleichseitiges Dreieck mit Kantenlänge 42 mm)
WBV	Wasserbindevermögen

Symbole

Δ	gleichseitiges Dreieck
\square	Würfel
\circ	Zylinder

1 Einleitung und Zielstellung

Die Zerkleinerung von unterschiedlichsten biologischen Rohstoffen ist in einer Vielzahl von Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes, aber auch in der Biomasseverarbeitung oder Abfallwirtschaft unerlässlich.

Das Verarbeitende Gewerbe ist der bedeutendste Wirtschaftszweig und größte Arbeitgeber in Deutschland (N.N., 2010a, 2011a und 2011b). Innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes nimmt die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln als viertgrößter Bereich eine vorrangige Stellung ein (N.N., 2010b). Die Zerkleinerung von tierischen und pflanzlichen Materialien wie Fleisch, Fisch, Obst und Gemüse nimmt eine zentrale Stellung innerhalb der Verarbeitungsprozesse, im Speziellen bei der Nahrungsmittelproduktion ein. So werden einerseits zerkleinerte Zwischenprodukte mit speziellen Eigenschaften benötigt. Andererseits werden durch diverse Zerkleinerungsverfahren in einem Prozessschritt Enderzeugnisse mit definierter Qualität hergestellt.

In der hierbei umsatzstärksten Branche, der Fleischwarenindustrie (MÜLLER, 2010; ARTMANN, 2010), ist es bei der Wurstwarenproduktion zumeist unentbehrlich, einen mehr oder weniger intensiven Zerkleinerungsvorgang für die Bereitstellung von Zwischen- oder Herstellung von Endprodukten durchzuführen. Die zu zerkleinernden Fleisch- und Fettrohstoffe sind hinsichtlich ihrer Qualität dabei stark schwankende Naturprodukte, welche auf falsche Zerkleinerungsparameter überaus sensibel reagieren. Eine unangepasste Zerkleinerungstechnik wirkt sich sehr schnell nachteilig auf die Qualität der Zwischen- und Endprodukte sowie die Leistungsfähigkeit der Zerkleinerungsmaschine bzgl. des Materialdurchsatzes und Energiebedarfs aus (BAIER und HAACK, 1990).

Für Zerkleinerungsprozesse in der Fleischindustrie werden seit jeher am häufigsten Fleischwölfe eingesetzt, da sie für eine Vielzahl von Zerkleinerungsaufgaben Verwendung finden. So sind sie zum Beispiel „zur Hackfleischherstellung, zur Vorzerkleinerung und Standardisierung von Verarbeitungsmaterial sowie zur Herstellung verschiedener grobzerkleinerter Roh- und Kochwürste“ geeignet (HAACK et al., 2003a). Trotz der langen Tradition beim Einsatz von Fleischwölfen und obwohl diese stetigen Weiterentwicklungen unterzogen werden, wird bis heute eine ausreichend hohe Qualität bei der Fein- und Feinstzerkleinerung von Rohstoffen immer jedoch nicht gewährleistet. Daher finden für diese Zerkleinerungsanforderungen sogenannte Kutter Verwendung, um beispielsweise feinzerkleinerte Brüh- und Kochwürste herzustellen. Die Zerkleinerung mit Wölfen bietet dessen ungeachtet den großen Vorteil, dass der Prozess kontinuierlich und damit wesentlich effizienter abläuft als bspw. der Kutterprozess. Neue Entwicklungen in der Wolfstechnik ermöglichen verbesserte Materialdurchsätze bei besserer Energieeffizienz. Dies ist im Hinblick auf die zunehmende Konzentrierung der Fleischverarbeitung und damit einer Verschärfung des Wettbewerbs von existentiell Interesse für die Unternehmen. Nur so kann der Rohstoff Fleisch kostengünstig zum Zwischen- oder Endprodukt verarbeitet werden.

Problematisch gestaltet sich hierbei in jeder Hinsicht die Erzeugung einer vom Verbraucher geforderten gleichbleibend hohen und reproduzierbaren Erzeugnisqualität.

Vor dem Hintergrund der großen Bedeutung der fleischverarbeitenden Industrie für das deutsche Ernährungsgewerbe konzentrieren sich die nachfolgenden Arbeiten auf den Zerkleinerungsprozess von Fleischrohstoffen mittels Wolfmaschinen. Dabei wird im Besonderen auf die Herstellung von Brühwürsten eingegangen, da diese den Hauptanteil der erzeugten Wurstwaren mit circa 58 % der Produktionsmenge (N.N., 2012a) und 53 % des Umsatzes (HARSTICK und VOGELSANG, 2012) stellen. Die Wurstwarenproduktion in Deutschland betrug im Jahr 2011 etwa 1,5 Millionen Tonnen (N.N., 2012a), was einem Umsatz von rund 6,5 Milliarden Euro entsprach (HARSTICK und VOGELSANG, 2012).

Zielstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Verarbeitungsprozess von Fleisch in einem Wolf schrittweise und damit wissenschaftlich neu zu betrachten. Basierend auf diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen sollen Anforderungen an eine optimierte Verarbeitungstechnologie abgeleitet werden. Im Fokus der Forschung steht insbesondere die Herstellung von sensorisch und ernährungsphysiologisch hochwertigen fein- und feinstzerkleinerten Wurstmassen. Dieser Ansatz stellt ein Novum bei der Entwicklung von Fleischwölfen und Wolfwerkzeugen dar.

In einem **ersten** Schritt soll geklärt werden, wie das Zerkleinern von Fleisch in Wölfen prinzipiell stattfindet, welche Teilarbeiten dabei auftreten und wie diese mit Hilfe einer zu entwickelnden Methode grundsätzlich abgebildet werden können.

Zweitens soll herausgestellt werden, welchen Einfluss verschiedene rohstoff- und technologiebedingte Verarbeitungsparameter während des Wolfens spielen. Die entwickelte Methode zur Aufteilung in die Teilarbeiten sowie die erarbeiteten Einflussfaktoren sollen dazu beitragen, einen auf vorhandene oder neu entwickelte Werkzeuge (Messer und Lochscheiben) abgestimmten verbesserten Zerkleinerungsprozess von Fleisch in Wölfen abzuleiten.

Abschließend werden **Drittens** die erarbeiteten Erkenntnisse in ein neuartiges prototypisches Verfahren zur Brühwurstherstellung umgesetzt. Die Verfahrensoptimierung wird am Beispiel der Bockwurstherstellung dargestellt. Über eine qualitative Charakterisierung der hergestellten Wurstbräte und Endprodukte nach sensorischen und ernährungsphysiologischen Parametern soll das neuartige Verfahren zur Zerkleinerung einschließlich Emulgierung auch im Vergleich mit der herkömmlichen Standardtechnik Kutter bewertet werden. Ziel ist es, ein qualitativ hochwertiges Erzeugnis bei optimierter Verarbeitungstechnologie herzustellen.

2 Literaturübersicht und Ableitung von Arbeitsthesen

Der Prozess der Herstellung von Fleisch- und Wurstwaren stellt eine komplizierte Abfolge und Kombination von verschiedenen mechanischen Zerkleinerungs- und Mischverfahren dar.

Traditionell wird für die Herstellung von Wurstbrät ein Kutter verwendet. Daher sind die darin stattfindenden Zerkleinerungsprozesse und die Brätausbildung vergleichsweise gut bekannt, wie die Vielzahl der Veröffentlichungen in der Fachliteratur belegt (KLETTNER, 1984a; GRABEIN et al., 1987; HAACK et al., 2006). Vordergründig wurden hierbei in den letzten Jahren Untersuchungen zum Wechselspiel zwischen dem Rohstoff und den Kuttermessern sowie Messeroptimierungen vorgenommen (DOLATA et al., 1999; HAMMER et al., 2006; SCHNÄCKEL et al., 2008). Der Einsatz von Kuttertechnik geht aber mit wesentlichen Nachteilen einher, da sie diskontinuierlich arbeiten, einen relativ hohen Energieverbrauch aufweisen und beträchtliche Investitionskosten erfordern.

Die Etablierung von neuartigen Zerkleinerungsverfahren mit höherem Wirkungsgrad und somit effizienteren Wirkprinzipien ist in Zeiten zunehmender Ressourcenknappheit somit unerlässlich. Eine besondere Bedeutung nimmt dabei das mechanische Zerkleinern mittel Scheren ein, wie es auch im Wolf Anwendung findet (TSCHEUSCHNER, 2004). In den vergangenen Jahren konnten durch verschiedenste Neuentwicklungen immer leistungsfähigere und effektivere Wölfe auf den Markt gebracht werden (ZHAO und SEBRANEK, 1997; INOTECH 2000; STOYANOV et al., 2003; HAACK et al., 2003; HAACK et al., 2004; HAACK et al., 2007a; SYROVATSKI et al. 2008, WEISS et al., 2010). Basis dieser Entwicklungen waren jedoch überwiegend rein empirisch gewonnene Erfahrungswerte. Eine systematische und vor allem gesamtheitliche Charakterisierung des Wolfprozesses ist aus der Fachliteratur aber bisher kaum bekannt.

2.1 *Wolfmaschinen – Eine Zerkleinerungstechnik*

Wölfe können in Standard- und Füllwolftechnik (HAACK et al., 2000) bzw. nach der speziellen Verwolfungsaufgabe in Frisch- und Gefrierfleischwölfe (KLETTNER, 1984b; BAIER und HAACK, 1990; HAACK und WARNECKE, 1996; NEUHÄUSER, 1998) unterteilt werden. Durch ihre sehr große konstruktive Variabilität sind sie für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle einsetzbar. Diese Vielfalt bedingt jedoch, dass allgemeingültige Aussagen über die einzelnen Vorgänge während der Verwolfung schwierig sind. Es ist nach BAIER und HAACK (1990) daher unerlässlich, neben den wichtigsten Baugruppen und deren gegenseitiger Beeinflussung, auch wirkende mechanische Grundvorgänge zu kennen. Nur so können die Effekte auf die Zerkleinerungs- sowie Erzeugnisqualität abgeschätzt werden.

2.1.1 Mechanische Grundvorgänge für Zerkleinerungsprozesse

Nach der DIN-Norm 8588 (N.N., 2003) wird das teilweise oder vollständige Trennen eines Körpers in mindestens zwei Teile als Zerkleinern bezeichnet. Grundlegende Möglichkeiten, um eine Zerkleinerung durchzuführen, ergeben sich durch die Beanspruchung der zu verarbeitenden Rohstoffe. In Abbildung 1 ist dargestellt, dass infolge der Einwirkung von Druck, Schub (= Reiben bzw. Scheren), Schlag, Spalten (= Schneiden) sowie Prall eine Zerkleinerung stattfinden kann (BAIER und HAACK, 1990; TSCHUSCHNER, 2004; STIEß, 2004; LEHNER, 2008).

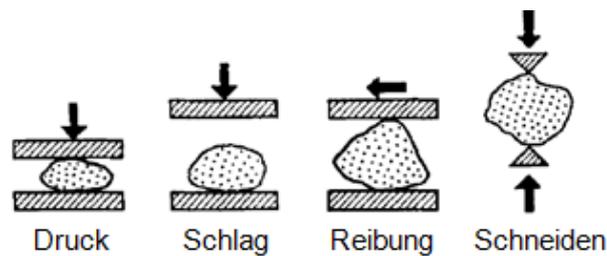


Abbildung 1: Schematische Darstellung wichtiger Zerkleinerungsverfahren (KAUFMANN und THIEME, 1957)

In der Literatur sind nur wenige Ansätze vorhanden, welche die auftretenden Arbeiten beim Zerkleinern detaillierter betrachten.

So ist beispielsweise für das Schneiden von Metallen bekannt, dass die Zerkleinerungsvorgänge in aufeinander folgenden Phasen stattfinden (SPUR, 1985; N.N., 2003 und 2011c).

1. Einwirkung der Zerkleinerungselemente durch Schubspannung infolge des Kontaktes mit dem Rohstoff, wobei es zu dessen elastischer Verformung und ggf. Verdrängung in Schnittrichtung sowie rechtwinklig zur Bewegungsachse kommt.
2. Einsetzen der plastischen Verformung bis zum Erreichen der maximalen Zerkleinerungskraft als eigentlichem Zerkleinerungsvorgang.
3. Rissbildung und Scherung, ausgehend von den Zerkleinerungselementen, wenn die Schubspannung über die Fließgrenze des Rohstoffes hinausgeht.
4. Vollständiges Trennen des Rohstoffes.

Abbildung 2 stellt den Verlauf der Kraftentwicklung während des Schneidens von Metall dar. Die Gesamtarbeit W für den Zerkleinerungsprozess entspricht dem Integral der Kraft F über den Weg x , das heißt der Fläche unter der Weg-Kraft-Kurve (TSCHUSCHNER, 2004; KLOCKE und KÖNIG, 2006).

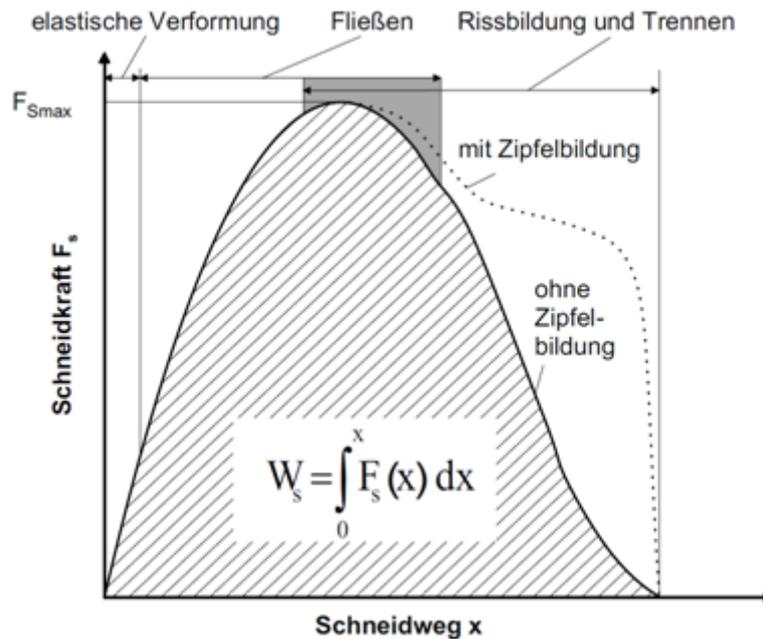


Abbildung 2: Schematische Darstellung des qualitativen Verlaufs der Schneidkraft über den Schneidweg beim Scherschneiden von Metall (KLOCKE und KÖNIG, 2006)

Die erforderliche Gesamtarbeit W hängt von den in Gleichung 1 formelmäßig dargestellten Komponenten für die Arbeit ab (AWISZUS und RÖSLER, 2008):

- aufzubringende Arbeit für die ideale homogene Verformung W_{id} ,
- Arbeit für die äußere Reibung zwischen Rohstoff und Werkzeug W_R ,
- Verlust an Arbeit durch innere Schiebung W_{Sch} und
- Verlust an Arbeit durch innere Biegung W_B .

$$W = W_{id} + W_R + W_{Sch} + W_B \quad (\text{Gl. 1})$$

Eine einfache Übertragung derartiger Erkenntnisse auf biologische Rohstoffe ist aufgrund deren abweichender rheologischer Eigenschaften allerdings schwierig.

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass beim Schneiden nichtspröder, das heißt plastoelastischer biologischer Materialien wie Fleisch drei grundlegende Typen an Arbeit notwendig sind:

- Kompression,
- Trennen (oder Schneiden) und
- Reibung.

Bevor es zu einem Trennen der inneren Bindung durch die Überwindung der Bindungskräfte kommen kann ist es erforderlich, das plastoelastische biologische Material zuerst zu komprimieren, das heißt soweit zu verformen, bis dessen Bruchgrenze erreicht ist. Das Trennen resultiert aus einem langsamen Risswachstum durch Beanspruchungen infolge von Zug, Druck oder Schub, welches zum Scheren des Rohstoff-

fes führt. Während des Schneidvorgangs entsteht zudem Reibung durch den Kontakt der Zerkleinerungselemente mit dem Rohstoff. (TSCHUSCHNER, 2004; BROWN et al., 2005)

In der Gleichung 2 sind die nach DOWGIALLO (2005) beim Schneiden von faserartigen Rohstoffen wie Fleisch erforderlichen Kräfte dargestellt. Die erforderliche Gesamtkraft P setzt sich zusammen aus den Kräften:

- zur Überwindung der elastischen und plastischen Deformation P_e ,
- zur Überwindung der Reibung P_f sowie
- für die Zerstörung der Rohstoffstruktur P_d .

$$P = P_d + P_e + P_f \quad (\text{Gl. 2})$$

DOWGIALLO (2005) und CIULICĂ et al. (2011) konnten in ihren Versuchen den Schneidprozess in drei Zonen untergliedern, siehe Abbildung 3.

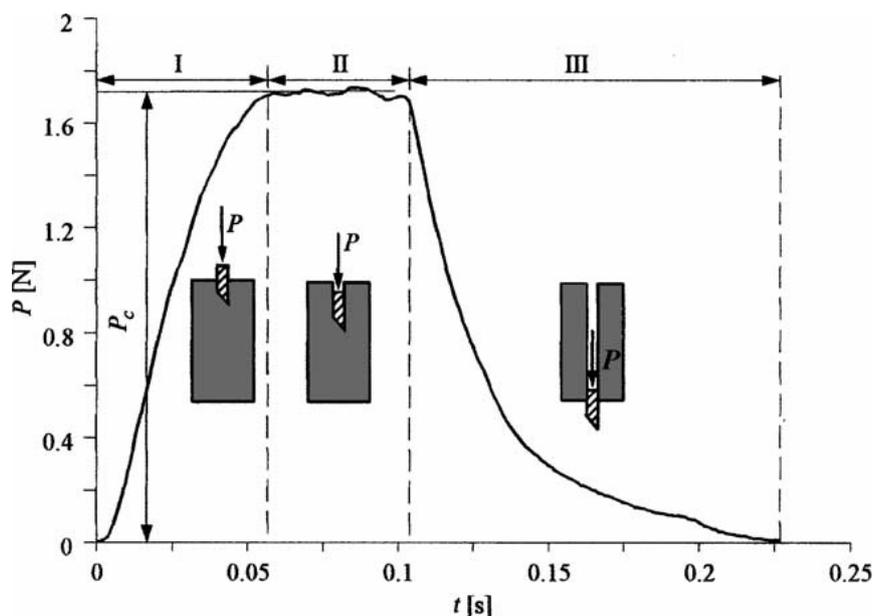


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Kraftverlaufs während des Schneidens (DOWGIALLO, 2005; CIULICĂ et al., 2011)

(Zone I: Messereindringen in Rohstoff, Zone II: fortlaufender Schneidprozess, Zone III: Durchschneiden)

Die Kompressionskraft ist dabei in Zone I bzw. die Reibungskraft in Zone II maximal. Die Autoren konnten für eine definierte Messerform bezüglich Messerdicke und Keilwinkel auch einen Zusammenhang von Schneidkraft und Schneidgeschwindigkeit herausarbeiten. Demnach nimmt mit steigender Schneidgeschwindigkeit die Rohstoffdeformation ab, so dass infolge dessen auch die erforderliche Schneidkraft sinkt.

Experimentell konnten zum Beispiel auch die am Zerkleinerungselement Messer auftretenden Einzelkräfte unter anderem beim Zerkleinern von rohem Fleisch und Fett bestimmt werden. Dabei wurden die an der Messerschneide wirkenden Kräfte ermittelt, siehe Abbildung 4. Der Widerstand ist beim Schneiden von Fleisch an der Schneidkante sehr viel größer als die Reibkraft oder die Kraftwirkung auf die Schneidenfase. Bei festem Fettgewebe wirkt mehr Kraft auf die Schneidenfase ein, während die Widerstandskraft an der Schneidkante bzw. die Reibkraft an der Schneidenfase geringer ausgeprägt sind. (TSCHEUSCHNER, 2004)

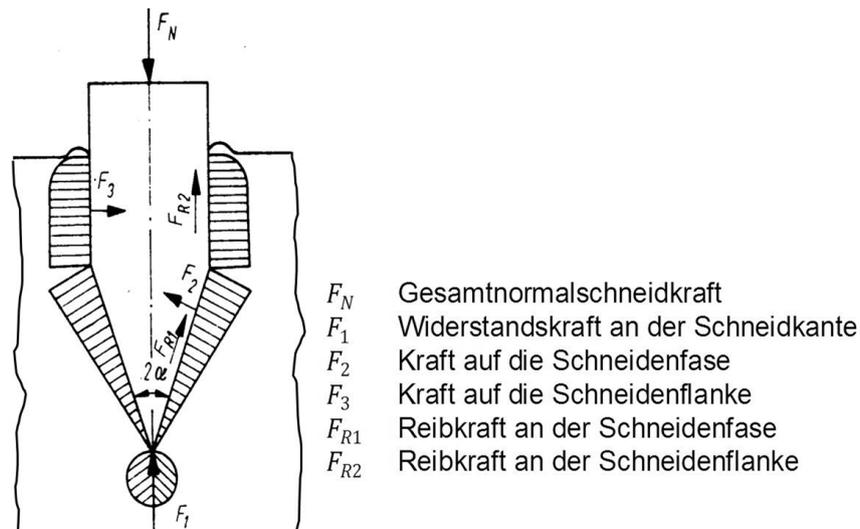


Abbildung 4: Schematische Darstellung der an einer Messerschneide wirkenden Kräfte (TSCHEUSCHNER, 2004)

Dessen ungeachtet stellt die experimentelle, rechnerische oder modellhafte Erfassung der Kräfteverhältnisse beim Schneiden biologischer Materialien wie Fleisch trotz der Tatsache, dass man die einwirkenden Größen seit den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts kennt, ein bisher kaum gelöstes Problem dar (TSCHEUSCHNER, 2004). Einige Autoren konzentrierten ihre Untersuchungen auf Teilkräfte, zum Beispiel auf die entstehende Reibungsarbeit beim Schneiden von Rindfleisch bei verschiedenen Schneidgeschwindigkeiten und Rohstofftemperaturen (BROWN et al., 2005) bzw. auf die notwendige Schneidkraft in Abhängigkeit von der Messerschärfe (MCGORRY et al., 2003). Die Erarbeitung einer mathematischen Ableitung speziell für Wölfe misslang zumeist, da unter anderem das Nicht-Newtonsche Fließverhalten von Fleisch unberücksichtigt blieb (PILZ, 1955). Andere Autoren versuchten, auf experimentellem Weg für den Wolfprozess eine gesetzmäßige Ableitung der Abhängigkeit des Zerkleinerungs- vom Förderprozess herauszuarbeiten (BAIER und HAACK, 1990).

Es sind auch einzelne empirische Ansätze zur Untersuchung des Kraftbedarfs für den Antrieb der Zerkleinerungselemente in Fleischwölfen vorhanden. Die Autoren schätzten, dass circa 70 bis 90 % der Antriebsleistung für den Schneidprozess auf-

gebracht werden, der Rest entfällt auf die Rohstoffförderung. Es konnte festgestellt werden, dass der Kraftbedarf für die Zerkleinerung der Rohstoffe beispielsweise abhängt von der Rohstofftemperatur und der dadurch beeinflussten Rohstofffestigkeit. Auch die optimale Abstimmung der Zerkleinerungselemente und die dadurch bereitgestellte Partikelgröße für die nächste Zerkleinerungsstufe bestimmen die Höhe der Kraftaufwendung. So entstehen bei der Verwolfung von rohem Muskelfleisch aufgrund dessen geringerer Festigkeit und höherer Kompressibilität größere Partikel als bei Fett. Tiefgefrorenes Fleisch erfordert für den Wolfprozess schätzungsweise dreibis sechsmal mehr Kraft als schlachtwarmes Fleisch. (HAACK und WARNECKE, 1998a; HAACK et al., 2003b und 2003c)

Schlussendlich lässt sich feststellen, dass die in der Literatur nur vereinzelt zu findenden Angaben zu den einzelnen Kräften/Arbeiten zum Schneiden generell oder im Speziellen für den Vorgang des Zerkleinerns in Fleischwölfen zumeist auf reinen Erfahrungsgrößen beruhen. Demzufolge ist die vorliegende Arbeit von großem wissenschaftlichem und wirtschaftlichem Interesse sowie völlig neuartig im Bereich der Fleischverarbeitung.

2.1.1.1 Zerkleinerungsprozesse – Allgemeine Grundprinzipien des Schneidens

Grundlegend kann das Schneiden untergliedert werden in einen Frei-, Messer- oder Scherschnitt. Die Zerkleinerungselemente können dabei mit unterschiedlichen Bewegungen auf den zu zerteilenden Rohstoff einwirken. So sind eine translatorische, rotatorische und schwingende Bewegung sowie ein feststehendes Messer möglich. (TSCHUSCHNER, 2004)

Der Freischnitt zeichnet sich dadurch aus, dass der Rohstoff nicht fixiert ist, während das Zerkleinerungselement auf ihn einwirkt. Bei einem Messerschnitt wird der zu zerteilende Rohstoff zwischen einem festen Untergrund und dem Zerkleinerungselement fixiert. Die Fixierung des Rohstoffes zwischen zwei Zerkleinerungselementen wird als Scherschnitt bezeichnet. (MALIKI, 1951; KIPPHAN, 2000; N.N., 2003; WECK und BECHER, 2005; AWISZUS und RÖSLER, 2008)

2.1.1.2 Das Zerkleinerungsprinzip „rotatorischer Scherschnitt“

Die Wissenschaft ging bisher davon aus, dass in einer Wolfmaschine ein rotatorischer Scherschnitt stattfindet, das heißt die Zerkleinerungselemente arbeiten mit einer ziehenden Scherbeanspruchung (TSCHUSCHNER, 2004; RUST, 2004). Der Scherschnitt (auch Scheren) ist das Zerteilen eines Rohstoffes durch zwei sich aneinander vorbeibewegende Zerkleinerungselemente, infolge dessen der Rohstoff durch Scherkräfte abgeschert wird, sobald die Scherfestigkeit des Rohstoffes überwunden ist (BEITZ et al., 1990; KIPPHAN, 2000; N.N., 2003; WECK und BECHER, 2005;

N.N., 2011). Der rotatorische Scherschnitt in einer Wolfmaschine findet zwischen der Schneidkante des Messers (1. Zerkleinerungselement) und der Kante der Lochscheibenbohrung (2. Zerkleinerungselement) statt, siehe Abbildung 5. Dabei wird das Fleisch zwischen den Schneidkanten zerteilt. (KLETTNER, 1984; BERSZAN, 1989)

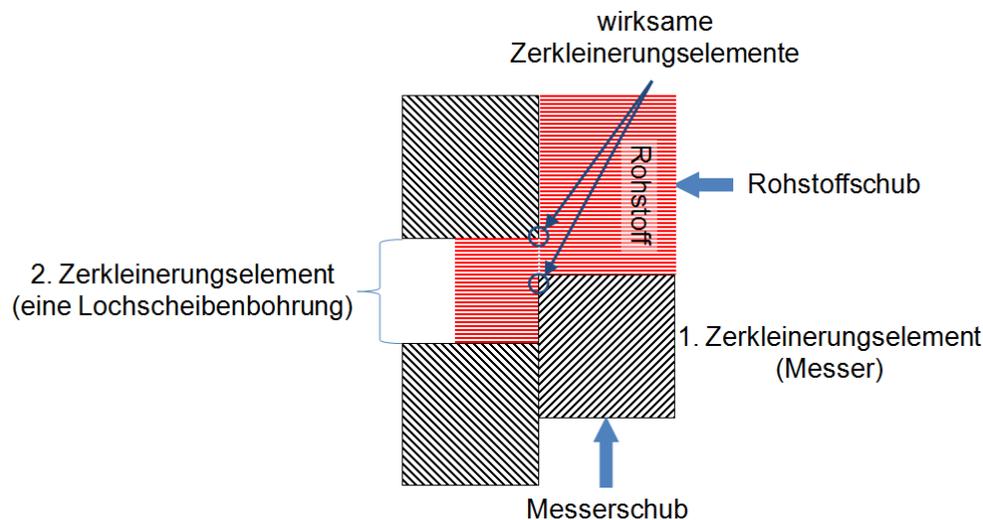


Abbildung 5: Schematische Darstellung des rotatorischen Scherschnitts und der wirkenden Zerkleinerungselemente in einer Wolfmaschine (eigene Darstellung)

Beim Schneidprozess in einem Wolf müssen zwei wesentliche Aspekte berücksichtigt werden. Einerseits steht der zu schneidende Rohstoff unter Druck, andererseits wird in einer Wolfmaschine nicht ständig ein Schnitt zwischen jeder Lochscheibenbohrung und der Messerkante realisiert. Dies resultiert daraus, dass das rotierende Messer nur in bestimmten zeitlichen Intervallen über bestimmte Lochscheibenbohrungen streift. Dies bedeutet, dass sich der Rohstoff durch den Rohstoffschub (= Förderdruck) in einem Bereich der Lochscheibe gerade erst in die Bohrungen hinein drückt, während in anderen Bereichen schon eine Rohstoffkomprimierung im 90° Winkel zur Förderrichtung stattfindet. Die Komprimierung wird durch das rotierende Messer erzeugt. Der Rohstoff kann während dieser Komprimierungsphase aber durch den Messerschub auch teilweise wieder aus der Bohrung herausgezogen werden. Dabei wird er in Schnittrichtung des rotierenden Messer verschoben. In weiteren Bereichen, in denen der Rohstoff vollständig komprimiert wurde, trifft durch die weitere Messerrotation die Kante des Messers auf die Kante der Lochscheibenbohrung, so dass der Rohstoff durchtrennt wird. (AWISZUS und RÖSLER, 2008; SCHNÄCKEL et al., 2011a)

Die Qualität des zerkleinerten Rohstoffes wird dabei unter anderem durch die Größe des Schneidspalts zwischen den Zerkleinerungselementen, von der Geometrie und dem Verschleißzustand der Zerkleinerungselemente oder durch die Art der Messerbewegung bestimmt (BEITZ et al., 1990; KIPPHAN, 2000; WECK und BECHER, 2005; N.N., 2011).

2.1.1.3 Das Zerkleinerungsprinzip „fester Messerschnitt“

Der feste Messerschnitt wird aus wissenschaftlicher Sicht bisher eher mit einem „Extrusionsprozess“ verglichen, welcher in speziellen Extrudermaschinen wirkt (HEISS, 2004). Die Extrusion ist das Pressen von Rohstoff durch eine formgebende Öffnung, welche als Zerkleinerungselement wirkt. Die dabei entstehenden Rohstoffpartikel weisen einen Durchmesser gleich dem der Öffnung auf (N.N., 2006a und 2009a).

Durch HEINZ und HAUTZINGER (2007) wurde erst relativ spät auch die Zerkleinerung in Fleischwölfen mit einer Extrusion verglichen. Rohstoffe, welche wie Fleisch bei vergleichsweise geringen Temperaturen, Drücken sowie Kräften verarbeitet werden, unterliegen einer Kaltextrusion. Hierbei ruft die eingebrachte mechanische Energie physikalische Veränderungen im Rohstoff hervor. (N.N., 2009a)

Dass ein fester Messerschnitt bei der Zerkleinerung in Fleischwölfen zum Tragen kommt, wurde in der Literatur bisher nicht genau beschrieben. Es wurde bislang davon ausgegangen, dass nur die Stege zwischen den Bohrungen am Zerkleinerungsprozess beteiligt sind (HAACK et al., 2003b; HAACK und SCHNÄCKEL, 2004).

Nach den Erkenntnissen von SCHNÄCKEL et al. (2012a) erfolgt der feste Messerschnitt nicht primär über ein reines Einpressen von Rohstoff in die Bohrungen und/oder über eine Schneidwirkung der Stege zwischen den Bohrungen sondern auch als Resultat eines Schneidens an den Kanten der Lochscheibenbohrungen. Dabei kommt es zu einer Zerstörung der Fleischfasern, weil diese Kanten in Strömungsrichtung des Fleisches eine Funktion als Schneidkante einnehmen und das Fleisch gewissermaßen in lange Zylinder zerteilen.

2.1.2 *Wolfmaschinen – Prinzipieller Aufbau und Funktionsweise*

Wolfmaschinen zeigen, unabhängig von deren spezieller Verwolfungsaufgabe, einen vergleichbaren Grundaufbau, siehe Abbildung 6 (PRÄNDL et al., 1988). Konstruktive Variationsmöglichkeiten bestehen unter anderem in der Veränderung der Schnecken (Länge, Durchmesser, Anzahl und Stellung der Schneckengänge etc.), der Gestaltung der Züge im Schneckengehäuse, der Nutzung verschiedener Schneidsätze, der Anordnung und Form der Lochscheibenbohrungen oder der Anzahl der Messerbalen und deren Form.

Das Funktionsprinzip eines Wolfs ist seit rund 150 Jahren bekannt und wird traditionell als ein System beschrieben, in welchem Rohstoff mit Hilfe einer rotierenden Schnecke durch ein Schneidsystem hindurch bewegt und dort geschnitten wird. Das Schneidsystem besteht aus den Zerkleinerungselementen feststehende Lochscheibe und rotierendes Messer. (RUST, 2004)

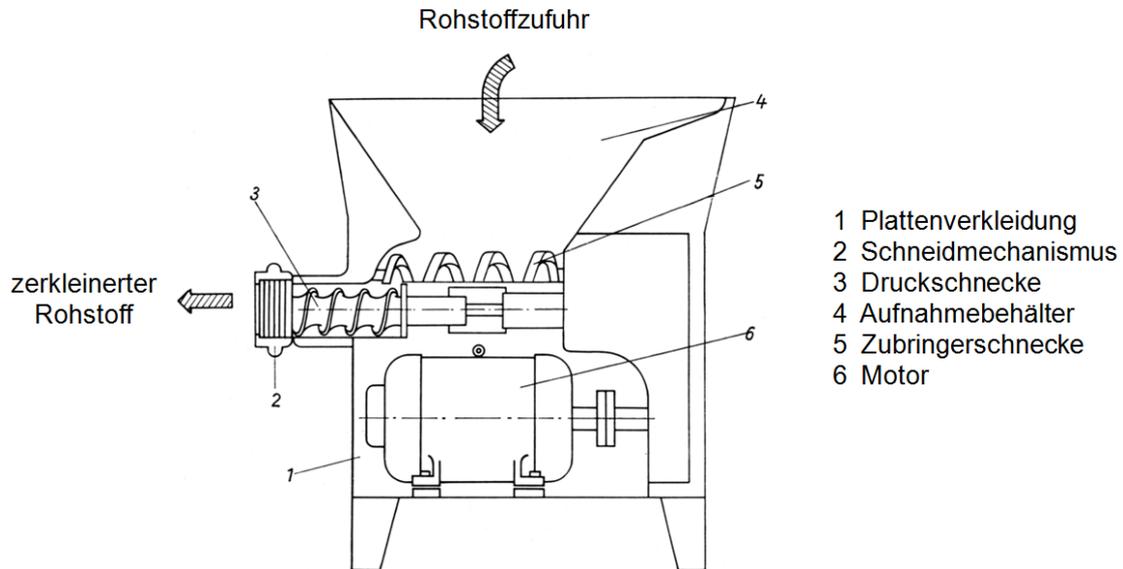


Abbildung 6: Beispielhafter Aufbau und Bauelemente eines Standardwolfs (PRÄNDL et al., 1988)

In den vergangenen Jahren fand eine Erweiterung der Definition der Wolfffunktion dahingehend statt, dass das Wolfen nunmehr auch als Extrusion betrachtet wird (HEINZ und HAUTZINGER, 2007). Laut HEINZ und HAUTZINGER (2007) soll der Vorgang der Extrusion erklären, wie es beim Verwolfen durch den Druckaufbau der rotierenden Förderschnecke zum sprunghaften Eindringen von Rohstoff in die Bohrungen der fest stehenden Lochscheibe kommt.

SCHNÄCKEL et al. (2012a) konnten in ihren Untersuchungen jedoch nachweisen, dass der Wolfprozess wesentlich komplexer ist. Demnach dringt der Rohstoff infolge eines festen Messerschnitts an den Kanten der Lochscheibenbohrungen in die Bohrungen ein. Anschließend wird der Rohstoff durch das rotierende Messer in den Bohrungen fixiert und nachfolgend an den Kanten zwischen dem Messer und den Bohrungen abgeschert (PRÄNDL et al., 1988). Der abgescherte Rohstoff in den Bohrungen wird als Fleischzäpfchen bezeichnet.

In den letzten Jahren ist es zu erheblichen Leistungssteigerungen bei auf dem Markt befindlichen Maschinen gekommen (HAACK et al., 2007b). Das ist auf eine Reihe technischer Innovationen bei der Gestaltung der Schneckengeometrie sowie der Zuführsysteme, als auch auf immer weiter verbesserte Schneidsätze zurückzuführen (HAACK und SCHNÄCKEL, 2007a). Eine deutlich erhöhte Leistung und eine verkürzte Verarbeitungszeit sind bei Einsatz von Pumpwölfen (Kombination der Wirkprinzipien von Wolf, Mischer, Vakuumfüller) zu verzeichnen. Damit sinkt der Energiebedarf und durch die rohstoff- sowie werkzeugschonende Funktionsweise auch der Wärmeeintrag in das Brät. (PRÄNDL et al., 1988; N.N., 2000; STOYANOV, 2003; HAACK und SCHNÄCKEL, 2007a; WEISS et al., 2010; HAACK et al., 2012)

Leider beruhen diese Entwicklungen zum Großteil nur auf empirisch gewonnenen Erkenntnissen. Darum wird in der vorliegenden Arbeit versucht, neue Innovationen für die Wolftechnik auf wissenschaftlich begründeter Basis herauszustellen.

2.1.2.1 Schubkraft und Kraftübertragung – Das Wechselspiel zwischen Schnecke, Schneckengehäuse und Rohstoff

Das Aussehen der Schnecken sowie der Stützelemente im Schneckengehäuse, den sogenannten Zügen, basiert auf relativ festen geometrischen Formen, so dass angenommen wird, dass vergleichsweise ähnliche Arbeitsweisen vorliegen. Der Rohstofftransport zum Schneidsatz erfolgt durch die schraubenförmige Bewegung der Arbeitsschnecke, siehe Abbildung 7.

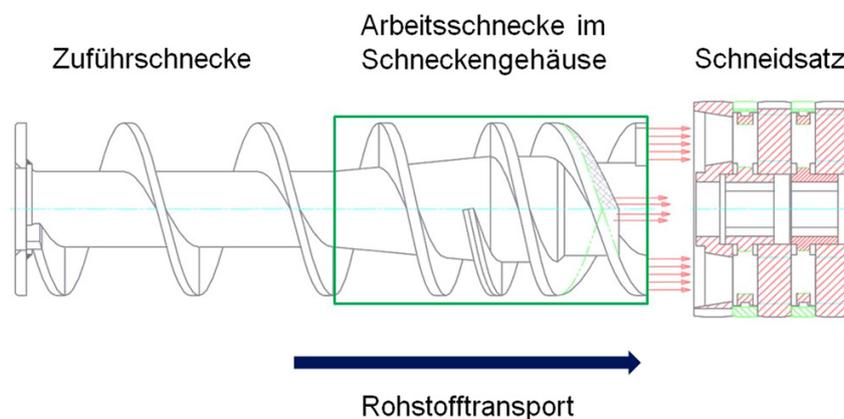


Abbildung 7: Beispielhafter Aufbau der Schnecke in einem Wolf (TIANGUANG, 2008)

Gegebenenfalls ist auch eine Zuführschnecke vorhanden, welche den Rohstoff an die Arbeitsschnecke übergibt. Es wird beschrieben, dass die Förderfähigkeit des Rohstoffes in einem Wolf auf dessen Wandhaltekraft sowie dessen Reibung an der Wandung und in den Zügen des Schneckengehäuses beruht. Der Rohstoff kann so nicht mit der Schnecke mitdrehen und wird bei Übergabe an die Schneidwerkzeuge gut abgeschnitten. (HAACK und WARNECKE, 1998b und 2000; HAACK et al., 1999a und 2012)

Während des Förderprozesses hin zum Schneidsatz kommt es zur Verdichtung (Komprimierung) des Rohstoffes und damit zum Druckaufbau. Dieser resultiert insbesondere aus der Abnahme des Schneckenkammervolumens infolge der Reduzierung des Abstandes der Schneckenwindungen. (BAIER und HAACK, 1990)

Diese Komprimierung führt nach Aussagen von HAACK et al. (1999a) und HAACK und WARNECKE (1998 und 2000) zu einem als Wandhaltekraft beschriebenen Anpressdruck des Rohstoffes gegen die Wand und die Züge des Schneckengehäuses. Dieser Effekt konnte jedoch nicht instrumentell ermittelt werden. Die Autoren gehen wei-

terhin davon aus, dass der durch den Rohstoff erzeugte Schub zwischen den Schneckenwindungen und den Zügen im Schneckengehäuse als Kraft an die Schneidsätze übergeben wird. Der Rohstoff fungiert somit gleichzeitig auch als Krafterzeuger. In Abbildung 8 ist der durch die Autoren beschriebene Kraftübertragungsvorgang schematisch dargestellt. Die Voraussetzung für eine gute Zerkleinerungsleistung im Wolf ist nach Auffassung der Forscher damit nur gegeben, wenn die Wandhaltekraft mit der schraubenförmigen Schubbewegung der Schnecke kombiniert wird. (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 1998 und 2000; HAACK et al., 2012)

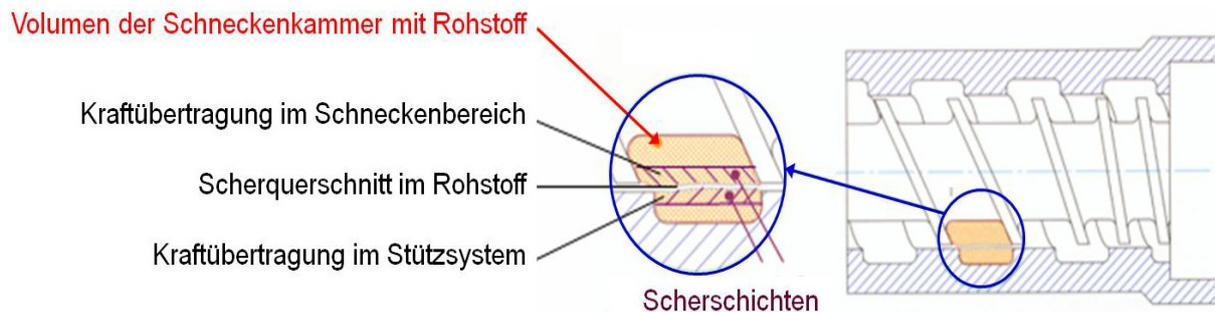


Abbildung 8: Schematische Darstellung des vermuteten Kraftübertragungsvorgangs und der Scherkraftwirkung durch die Arbeitsschnecke im Schneckengehäuse (HAACK und HAACK, 2009a)

HAACK et al. (1999a) und HAACK und WARNECKE (1998 und 2000) schlussfolgern, dass der Förderprozess mehr vom Druckaufbau durch den Rohstoff abhängt als von der Antriebsleistung der Schnecken. Für eine optimale Verworfung ist es ihrer Meinung nach essentiell, die jeweiligen Verarbeitungseigenschaften des Rohstoffes, das heißt vor allem dessen Festigkeitseigenschaften, zu kennen. Es ist bekannt, dass sich Fleisch durch seine plastoelastischen Eigenschaften bis zu einem gewissen Punkt komprimieren lässt, ohne dass ein Zerstörungsprozess stattfindet. Die während dieser Komprimierung eingebrachte Kraft kann durch den Rohstoff gespeichert werden. Um eine hohe Förderleistung der Wolfmaschine zu gewährleisten, wird bisher davon ausgegangen, dass der Rohstoff seine plastoelastischen Eigenschaften möglichst lang erhalten sollte. Nur so kann nach wissenschaftlicher Auffassung (z. B. HAACK et al., 1999b; TSCHUSCHNER, 2004; HAACK und SCHNÄCKEL, 2008a) der Rohstoff seine Funktion als Kraftaufnehmer und Druckerzeuger übernehmen und die nötige Kraft für die nachfolgende Bildung der Fleischzäpfchen aufbringen. Nimmt der Grad der Zerkleinerung zu, verändert sich die mechanische Festigkeit des Rohstoffes. Die Wandhaltekraft und damit die Intensität des Druckaufbaus nehmen ab, so dass die Funktion des Rohstoffes als Kraftüberträger eingeschränkt wird. Ist der Rohstoff zu stark oder aber zu wenig vorzerkleinert, kann bei der Verworfung nur bedingt eine gute Fleischzäpfchenqualität aufrecht erhalten werden. (HAACK und WARNECKE, 1998 und 2000; HAACK et al., 1999a und 2012)

Wird der Rohstoff einer zu starken mechanischen Belastung ausgesetzt, zum Beispiel einem zu hohen Druck, führt dies erwiesenermaßen zu einem vermehrten Fleischsaftaustritt und erhöhten Feinanteil durch mehr Fleischabrieb. Aus Erfahrung wird bei der Verwolfung von weichen frischen Fleisch- und Fettrohstoffen in der industriellen Praxis oftmals mit geringen Schneckendrehzahlen gearbeitet, um den Rohstoff langsam durch die Schnecke zu komprimieren und zu fördern, damit die Schnittqualität nicht vermindert wird. Bei der Verarbeitung von gefrorenen Rohstoffen, frischen Schwarten und sehr sehnenreichen Ausgangsmaterialien verändert sich deren Zerkleinerungsverhalten wesentlich. Hier kommt es eher zu einem Brechen der Rohstoffe. In gefrorenem Zustand verliert der Rohstoff vermutlich seine Wirkung als Kraftüberträger, da seine Komprimierungsfähigkeit und damit seine Energiespeicherfähigkeit kaum noch gegeben sind. (HAACK et al., 1999; HAACK und WARNECKE, 2000 und 1998)

2.1.2.2 Die Rohstoffübergabe an die Werkzeuge

Bei der Rohstoffübergabe an die Schneidwerkzeuge muss eine Abstimmung der Abnahme- mit den Zuliefermengen erfolgen. Dies wird erstens ermöglicht über die Schneckendrehzahl, welche die Verweilzeit des Rohstoffes in der Maschine sowie die Höhe des Druckaufbaus bestimmt. Es ist in der Forschung und Praxis bekannt, dass eine steigende Schneckengeschwindigkeit den Durchfluss erhöht und damit die Verweilzeit des Rohstoffes im Wolf senkt. Gleichzeitig benötigt der Wolfprozess aber auch mehr Energie, da nach KAMDEM und HARDY (1995a) mehr Reibung auftritt und damit laut ZHAO und SEBRANEK (1997) höhere Temperaturen entstehen, was zu einem Fettverschmieren führt. Zweitens bestimmt die Anzahl der Lochscheibenbohrungen die jeweilige Abnahmemenge. BAIER und HAACK (1990) haben aus ihren Erfahrungen geschlussfolgert, dass der Rohstoff von der Schnecke durch den Vorwärtsschub auf die Gesamtfläche der Lochscheiben gedrückt wird und alle Bohrungen sowie Messerräume gleichmäßig ausfüllt. Das dem nicht so ist, konnten SCHNÄCKEL et al. (2011b) nachweisen. Ihre Untersuchungen zeigen, dass aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung der Fleischfasern während der Verwolfung der Rohstoff inhomogen verteilt in die Bohrungen eintritt. Drittens spielt aber auch das Eindringverhalten des Rohstoffes in die Bohrungen in zeitlicher Abstimmung mit den Schneidfolgen der Messerklingen eine entscheidende Rolle. Die Autoren HAACK et al. (1999a) und HAACK und WARNECKE (2000) sowie HAACK et al. (2012) stellten in ihren Versuchen fest, dass eine dem Schneidzyklus angepasste Rohstoffzufuhr und -übergabe an die nachfolgende Schneidebene insgesamt die Zerkleinerungsleistung erhöht und die Schnittqualität verbessert. Des Weiteren zeigten sie auf, dass bei angepassten Rohstoffmengen der Wärmeeintrag in den Rohstoff zwischen den Werkzeugelementen sinkt. Somit ist die Temperaturerhöhung weniger stark ausgeprägt. Die Autoren begründen dies damit, dass die Rohstoffbeanspruchung durch Reibung und Druck sinkt. Sie zogen auch den Schluss, dass die Haltbarkeit der Erzeugnisse

deutlich erhöht werden kann, da in den für die Produkthygiene günstigeren und niedrigeren Temperaturbereichen gearbeitet werden kann. Dies sollte das Risiko des mikrobiellen Verderbs besonders für Hackfleisch und hackfleischähnliche Erzeugnisse deutlich senken. (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 2000)

Fehlt eine Synchronisierung der Fördermenge mit den Schneidzyklen, wird der Rohstoff während des Zerkleinerns zunehmend stärker gequetscht und unterliegt einem erhöhten Abrieb sowie einer intensiveren Zellzerstörung. Als Resultat weisen die hergestellten Erzeugnisse Qualitätsmängel wie ein unklares Schnittbild oder eine nicht gewollte Bindigkeit auf. (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 2000; HAACK et al., 2012)

Die Autoren HAACK und HAACK (2009a) sowie HAACK et al. (2012) definierten als Ergebnis ihrer Untersuchungen erstmals die Rohstoffmengen, welche sich optimalerweise in den einzelnen Bereichen des Fleischwolfs befinden müssen, um eine qualitativ hochwertige Verwolfung zu gewährleisten. Aus Abbildung 9 wird deutlich, dass die Zuführmenge M_3 gleich der Förderleistung M_2 gleich der Lochscheibenleistung M_1 ist.

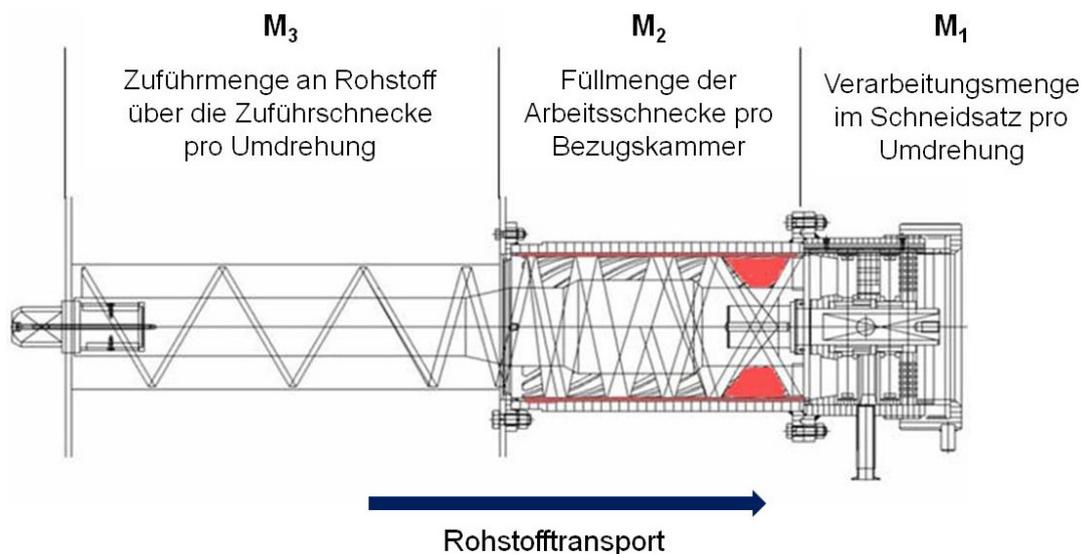


Abbildung 9: Schematische Darstellung der theoretischen Rohstoffmengen in den einzelnen Bereichen des Fleischwolfs (HAACK und HAACK, 2009a)

Diese Gleichung gilt aber nur, wenn kein Rohstoffrückfluss stattfindet oder dieser vernachlässigbar gering ist. Ein Rohstoffrückstrom entsteht beispielsweise bei undichten Schnecken, da hier die Schneckenkammern nicht vollständig gegen die Gehäusewandung abgeschottet sind. Demnach kann durch die Schnecken nur so viel Rohstoffmenge gefördert werden, wie der Schneidsatz abnehmen kann. Diese wichtigen Erkenntnisse finden in der industriellen Praxis leider nur bedingt Umsetzung, da infolge einer falschen Bedienung der Wolftechnik oftmals nicht aufeinander ange-

passte Rohstoffmengen bearbeitet werden. Dies führt zu einer Vielzahl von Problemen. So nehmen HAACK und HAACK (2009a) auf Grundlage ihrer Versuche an, dass bei nicht passender Abnahmemenge unter anderem bereits im Schneckengehäuse eine Rohstoffzerstörung stattfindet. In deren Folge ändern sich die Festigkeitswerte des Rohstoffes und er verliert seine Funktion als Kraftüberträger. Für den Wolfprozess bedeutet dies, dass der Schubdruck sinkt und die Verarbeitungsleistung abnimmt. (HAACK und HAACK, 2009a)

Bei guter Anpassung der Rohstoffmengen kann der durch den Rohstoff aufgebaute Schubdruck laut HAACK et al. (1999a) und HAACK und WARNECKE (2000) direkt an die Werkzeuge übergeben werden und die Zerkleinerungsqualität nimmt zu.

2.1.2.3 Die Werkzeugsysteme

Der Schneidsatz wird in Abhängigkeit vom Verwendungszweck nach Standard-, Rohwurst-, Gefrierfleisch-, Schwarten- oder Trennschneidsatz eingeteilt (BAIER und HAACK, 1990; STIEBING und KRELL, 1996) und ist aus mehrstufigen Messer-Lochscheiben-Kombinationen zusammengesetzt, siehe Abbildung 10.

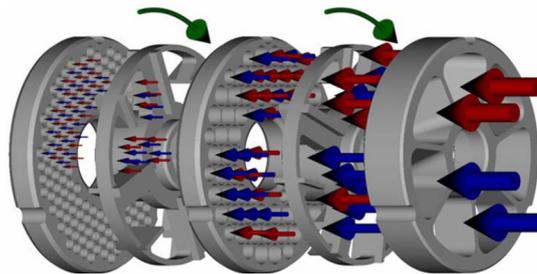


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Arbeitsschemas eines 5-teiligen Schneidsatzes (HAACK und HAACK, 2009a)

(blaue/rote Pfeile mit abnehmender Größe: Strömungsrichtung der zunehmend feiner zerkleinerten Rohstoffe, grüne Pfeile: Messerdrehrichtung)

Für einen hohen Materialdurchsatz und eine gute Produktqualität ist eine exakte Abstimmung der einzelnen Schneidsatzteile Messer und Lochscheiben zwingend Voraussetzung. Die Werkzeugsysteme müssen dabei aber auch auf den Rohstoff und dessen Temperatur abgestimmt werden, da nicht jeder Rohstoff und jedes Temperaturniveau ein gleiches Zerkleinerungsverhalten aufweisen. Dessen ungeachtet werden in den fleischverarbeitenden Unternehmen bisher größtenteils Messer und Lochscheiben eingesetzt, welche von den Messerherstellern im Standardprogramm angeboten werden bzw. von den Maschinenherstellern als Standardschneidsatz in den Fleischwölfen eingebaut sind. Aus diesem Grund haben die Unternehmen für die Zerkleinerung der Fleischrohstoffe für ihr gesamtes Fleisch- und Wurstwarensorti-

ment oftmals nur 2 bis 3 verschiedene Schneidsätze im Einsatz. Ein Wolfprozess in Bezug auf ein flexibles Agieren in Abhängigkeit vom zu zerkleinernden Rohstoff und dem herzustellenden Produkt ist damit sehr stark eingeschränkt. Nachteilig bei Verwendung standardmäßig eingesetzter Werkzeuge wirken sich der erhöhte Werkzeugverschleiß und der höhere Energiebedarf aus, da die Messer und Lochscheiben zum Teil nicht aufeinander abgestimmt arbeiten. Daraus entstehen Probleme, wie sie beispielhaft in Abbildung 11 dargestellt sind.



Abbildung 11: Beispielhafte Darstellung von Problemen beim Wolfen mit nicht auf den Rohstoff abgestimmter Technik (links: inhomogene Zerkleinerung und Durchmischung) oder durch ungünstige Maschineneinstellungen (Mitte: Verletzung; rechts: erhöhter Werkzeugverschleiß), (eigene Darstellung)

Um die Leistung der Wolfmaschine etwas zu verbessern, wird diese aufgrund fehlenden Systemverständnisses der Bediener oft mit ungünstigen Maschineneinstellungen (höhere Messerdrehzahl) oder falschen Werkzeugen (höherer Anpressdruck des Fleisches gegen die Werkzeuge) betrieben. Ungünstige Maschineneinstellungen oder falsche Werkzeuge fördern den frühzeitigen Werkzeugverschleiß, da sich beispielsweise die Lochscheiben stärker durchbiegen. Dies führt zu einem erhöhten Materialabrieb an den Messern und Lochscheiben. Eine falsche Handhabung führt aber auch zu einem erhöhten Wärmeeintrag, da mehr Reibung entsteht. Außerdem kann der Durchsatz stark vermindert werden, da sich zum Beispiel die Lochscheiben mit sich vernetzenden Kollagenfilamenten zusetzen. Infolge dessen entsteht eine schlechtere Produktqualität, da der Rohstoff zerquetscht und überbeansprucht wird. Insgesamt erhöht sich die Störanfälligkeit der Verwolfung deutlich. (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 2000; HAACK et al., 2012)

Generell ergibt sich erst durch eine günstige Abstimmung der Messer und Lochscheiben eine qualitativ hochwertige Rohstoffzerkleinerung. Die Intensität und Form der Zerkleinerung wird in erster Linie über die Messerform, die Anzahl der Schneidsatzteile sowie die Schnecken- bzw. Messerdrehzahl und den Bohrungsdurchmesser der letzten Lochscheibe gesteuert (BAIER und HAACK, 1990; HEISS, 1991; HAACK et al., 2012). Einen wesentlichen Einfluss auf die Zerkleinerungsqualität haben neben der Messerschärfe auch die Planlage der Messer auf den Lochscheiben, die Schärfe der Bohrungskanten, der Anpressdruck des Rohstoffes gegen die Lochscheibe sowie die Rohstofftemperatur (ZHAO und SEBRANEK, 1997; LAUBER, 2003; HAACK, 2009b).

Die **Messer** bestimmen über ihre Messerbalkenanzahl und die Drehzahl die zeitliche Abfolge der Fleischzäpfchenbildung, auch definiert als Schneidfolge. Zudem beeinflussen sie die Gleichmäßigkeit der Rohstoffförderung und die Zäpfchenlänge. Wesentlich für eine gute Schnittqualität sind aus heutiger Sicht ein kurzer Weg sowie eine optimale Schneidfolge zwischen Messer und Lochscheibe. Die Ergebnisse verschiedener Autoren zeigen, dass mehr Klingen bei gleicher Messerdrehzahl in der Lage sind, den im Messerraum befindlichen Rohstoff schneller abzuschneiden. Damit verkürzt sich die Zeit bis zum nächsten Schnitt, was zu einer kleineren und gleichmäßigeren Körnung (= Partikelgröße) führt (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 2000) sowie die Wolfleistung deutlich erhöht (HAACK et al., 2003a und 2003b; SCHNÄCKEL und HAACK, 2007). Demzufolge vergeht bei gleicher Messerdrehzahl und weniger Messerbalken eine längere Zeit bis zum nächsten Schnitt. Nach HAACK et al. (1999a), HAACK und WARNECKE (2000) sowie HAACK (2012) wird der Rohstoff hierbei teilweise wieder aus den Lochscheibenbohrungen herausgezogen und durch die Messerbewegung über die Lochscheiben mit geschliffen. Dadurch wird die Körnung sehr ungleichmäßig. Eine zu hohe Messerdrehzahl führt ihrer Ansicht nach zu vergleichbaren Erscheinungen. Sie vermuten, dass dem Rohstoff in diesem Fall zu wenig Zeit bleibt, richtig in die Bohrungen einzudringen. Sind die Messer hinsichtlich Form und Drehzahl nicht auf die Bohrungsgröße der Lochscheiben angepasst, kann es zum Blockieren der Bohrungen mit Knorpeln, Sehnen, Haut oder Knochenteilchen kommen. Dadurch füllt sich auch der Messerraum mit diesen Bestandteilen, die Leistungsfähigkeit des Wolfs sinkt und der Rohstoff staut sich zurück in Richtung Schnecke. (HAACK et al., 1999a; HAACK und WARNECKE, 2000; HAACK, 2012)

HAACK et al. (1999b) beobachteten, dass dünne Messerbalken mehr Rohstoff auf die Lochscheibe treffen lassen, so dass wiederum mehr Rohstoff zur Fleischzäpfchenbildung zur Verfügung steht.

Aufgrund von Erfahrungen bei der Fleischverwolfung wird empfohlen, dass die Lochscheibenfläche zu 75 % und die Messerlaufläche (= aktive Schneidfläche) zu 70 % ausgelastet sein sollten. Damit verbessern sich die Durchsatzleistung und Zerkleinerungsqualität des Schneidsatzes, da eine gleichmäßigere und schnellere Rohstoffverarbeitung erfolgt. (HAACK et al., 2003b; HAACK und SCHNÄCKEL, 2004)

Allerdings ist dies nur möglich, wenn ein planes Aufliegen der Messer auf der Lochscheibe gegeben ist (HAACK et al., 1999b; HAACK und SCHNÄCKEL, 2008a).

Die Messerschärfe ist von entscheidender Bedeutung, um einen klaren Schnitt zu erhalten, den Saftaustritt zu minimieren, die Bräterwärmung und damit unerwünschte Denaturierungsprozesse zu vermindern sowie ein Verschmieren der Fettgewebe zu verhindern (HEISS, 1991; TSCHUSCHNER, 2004). Über die Steuerung des Anpressdrucks der Messer gegen die Lochscheiben konnten erstmals sich stets wieder selbst schärfende Schneidwerkzeuge entwickelt werden. Damit können eine länger anhaltende Zerkleinerungsqualität, weniger Schleifkosten und ein geringerer Energiebedarf für den Wolfprozess ermöglicht werden. (SYROVATSKI, 2007 und 2008)

ZHAO und SEBRANEK (1997) stellten fest, dass bei der Zerkleinerung weicher Fleischsorten (z. B. Schwein, Pute) Messer mit einem größeren Winkel der Schneiden relativ zum Zentrum den Durchsatz erhöhten, da der Rohstoff zwischen den Werkzeuglementen besser abfloss. Messer mit kleinen Winkeln der Schneiden relativ zum Zentrum vermindern bei der Gefrierfleischverwolfung und bei der Verarbeitung von gekühltem Fettgewebe den Anteil an feinen Partikeln. Dadurch wird auch ein Verschmieren verhindert, wenn zeitgleich der Anpressdruck nicht zu klein, die Messer nicht stumpf und die Rohstofftemperatur nicht zu hoch sind. (ZHAO und SEBRANEK, 1997; HAACK, 2009b)

Je mehr Schneidelemente in einem Werkzeug enthalten sind, desto größer wird die Partikeloberfläche bzw. je höher die Messerdrehzahl ist, desto geringer ist die Länge der Teilchen, wie SHEARD et al. (1991b) feststellten. Damit konnten sie bei abnehmender Teilchengröße auf eine Zunahme der Zerkleinerungsintensität schließen.

Die Wolfmesser sind neben dem eigentlichen Abschneiden des Rohstoffes auch für die Aufrechterhaltung des Förderdrucks verantwortlich, da die Schneidbalken die Messerräume gegeneinander abschotten (HAACK et al., 1999b; TSCHUSCHNER, 2004; HAACK und SCHNÄCKEL, 2007a und 2008a).

Die **Lochscheiben** haben die Aufgabe, den Rohstoff aufzunehmen, wobei es nach Erfahrungen von BAIER und HAACK (1990) vom Bohrungsdurchmesser, der Rohstoffart, der Temperatur und den plastoelastischen Textureigenschaften des Rohstoffes etc. abhängt, wie tief dieses Eindringen erfolgt und wie viel Kraft dafür benötigt wird. Der Lochscheibendurchmesser bestimmt dabei die Leistungsgröße des Fleischwolfs. Je nach verwendetem Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe kann eine Feinheit der hergestellten Erzeugnisse von 20 bis hin zu 0,5 mm erzielt werden (TSCHUSCHNER, 2004; HAACK und SCHNÄCKEL, 2007a und 2008a). Bei zunehmendem Bohrungsdurchmesser nimmt der erforderliche Kraftaufwand zum Eindringen ab, wie Veröffentlichungen von HAACK et al. (2003d) und HAACK und SCHNÄCKEL (2008a) bestätigen.

Versuche in der Praxis zeigen, dass die Stege zwischen den Bohrungen einer Lochscheibe nur dann als zusätzliche Schneidkante wirken, wenn sie schmal sind. Dies führt dann zu einem klareren Schnittbild sowie weniger Saftaustritt und senkt den Energiebedarf für die Zerkleinerung aufgrund der zusätzlichen Schneidwirkung. (HAACK et al., 2003d; HAACK und SCHNÄCKEL, 2004)

Durch eine verbesserte Bohrung über entweder mehr Löcher oder schmalere Stege kann die Verarbeitungsleistung nahezu verdoppelt werden. Bei dickeren Lochscheiben von beispielsweise 20 statt 13 mm wird davon ausgegangen, dass die Zerkleinerungsleistung und -qualität durch eine bessere Druckhaltung und damit eine verbesserte Fleischzäpfchenbildung gesteigert wird, siehe dazu Abbildung 12. Dicke Lochscheiben biegen sich nicht durch, wodurch der Verschleiß deutlich abnimmt. Nachteilig wirkt sich bei dickeren Lochscheiben aber die zunehmende Reibung innerhalb der Bohrung aus, da sich die innere Gleitfläche erhöht. (HAACK et al., 1999b)

und 2003b; HAACK und WARNECKE, 2000; HAACK und SCHNÄCKEL, 2004; SCHNÄCKEL und HAACK, 2007)

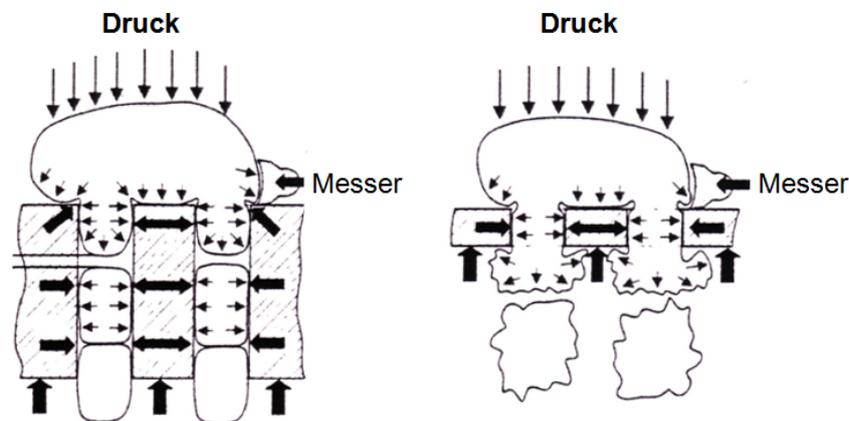


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Zerkleinerungsqualität der Fleischzäpfchen bei dicken (links) und dünnen (rechts) Lochscheiben (HAACK et al., 1999b und 2003b)

Eine verbesserte Abstimmung der Bohrungsdurchmesser der Lochscheiben in den unterschiedlichen Verarbeitungsebenen sollte nach ZHAO und SEBRANEK (1997) in der Lage sein, ein Produkt mit weniger sichtbarem Bindegewebeanteil herzustellen. Dies führt zu einer verbesserten sensorischen Qualität.

Die Ergebnisse von KAMDEM und HARDY (1995a) zeigen, dass sich bei gleicher offener Bohrungsfläche bei einer Lochscheibe mit geringerem Bohrungsdurchmesser die Oberfläche der zerkleinerten Fleischteile erhöht. Hierfür muss jedoch mehr Zerkleinerungsenergie aufgebracht werden. Erhöht sich die offene Bohrungsfläche sowie die Anzahl der Löcher, sinkt der Energiebedarf und der Durchsatz steigt.

Als Fazit ist festzustellen, dass einige, vor allem auf Erfahrungswerten aus der Praxis beruhende Erkenntnisse zu Schneidwerkzeugen und deren Einfluss auf die Zerkleinerungsqualität vorliegen. Wie sich die Qualität der Zerkleinerung dabei bei veränderten Rohstoffparametern wie Temperatur, Gewebeart oder Tierart in Abhängigkeit von der verwendeten Lochscheibe im Detail darstellt, ist ungenügend untersucht. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, derartige Abhängigkeiten systematisch zu untersuchen und wissenschaftlich zu untermauern.

2.1.2.4 Der Zerkleinerungsprozess – Das Zusammenspiel von Schubkraft und Werkzeugsystemen

Eine erste Zerkleinerung findet bereits im Schneckenbereich durch die Scherwirkung zwischen den Schneckenwindungen und den Zügen im Schneckengehäuse statt (NEUHÄUSER, 1996; HAACK et al., 2003d; WEISS et al., 2010; HAACK et al., 2012). Um

eine ausreichend feine Zerkleinerung zu erreichen, werden heutzutage fast ausschließlich drei- bis siebenstufige Schneidsätze eingesetzt. Diese bestehen aus unterschiedlichsten Messer-Lochscheiben-Kombinationen. (BERSZAN, 1989; SARAVACOS und KOSTAROPOULOS, 2002; HAACK et al., 2003a; SCHNÄCKEL und HAACK, 2007)

Durch Verwendung von sogenannten Druckausgleichsräumen in Vorschneidern wird versucht, die Wolfleistung zu erhöhen. Diese Druckausgleichsräume sollen das vollständige Anströmen von Rohstoff an die Lochscheibe fördern, so dass diese besser ausgelastet werden. Als Resultat des besser abfließenden Rohstoffes vermindert sich der Energiebedarf und Kraftaufwand. (STOYANOV et al., 2003; TIANGUANG, 2008; HAACK et al., 2012)

HAACK et al. (1999b) verweisen darauf, dass die Kraftübertragung aus dem komprimierten und damit unter Druck stehenden Rohstoff besser ausgenutzt wird, wenn die Anordnung der Druckräume zwischen Schnecke und Vorschneider auf die Messerrotation abgestimmt sind. Das heißt die Stellung des letzten Schneckenganges der Arbeitsschnecke bildet den Übergaberaum für den Rohstoff an die Lochscheibe. In diesem Übergabebereich muss der für die Fleischzäpfchenbildung erforderliche Druck aufgebaut werden.

Der Rohstoff Fleisch ist aufgrund seiner plasto-elastischen Eigenschaften (hohe Festigkeit, große Elastizität und Verformbarkeit) nach Auffassung einiger Autoren (PRÄNDL et al., 1988; HAACK et al., 1999b und 2003a; HAACK und SCHNÄCKEL, 2008a; HAACK et al., 2012) in der Lage, einwirkende Kräfte während der Rohstoffkomprimierung zu speichern und für die Fleischzäpfchenbildung zu nutzen. Die gespeicherten Kräfte können bei Überschreitung einer rohstoffcharakteristischen Druckschwelle schlagartig freigesetzt werden. Infolge dessen beginnt das Fleisch augenblicklich, in die Bohrungen der Lochscheibe einzutreten. Somit könnte von der Menge der gespeicherten Kraft auch das Eindringvermögen des Rohstoffes in die Bohrungen abhängen, das heißt wie und wann er eintritt. Die Autoren vermuten weiterhin, dass im Fleischzäpfchen, welches sich in die Bohrung bewegt, dabei der gleiche Druck wie im verbliebenen Fleisch im Messerraum herrscht. Dies wird damit begründet, dass die Muskelfasern noch überwiegend miteinander verbunden sind. Beim Abschneiden des Fleischzäpfchens, das heißt beim Durchtrennen der Muskelfasern durch das vor der Lochscheibe rotierende Messer, sinkt dann höchstwahrscheinlich der Druck im Fleischzäpfchen und es schnellt nach vorn aus der Bohrung heraus. (PRÄNDL et al., 1988; HAACK et al., 1999b und 2003a; TSCHUSCHNER, 2004; HAACK und SCHNÄCKEL, 2007a und 2008a; TIANGUANG, 2008; HAACK et al., 2012)

Die Abbildung 13 soll dieses Zusammenspiel noch einmal verdeutlichen.

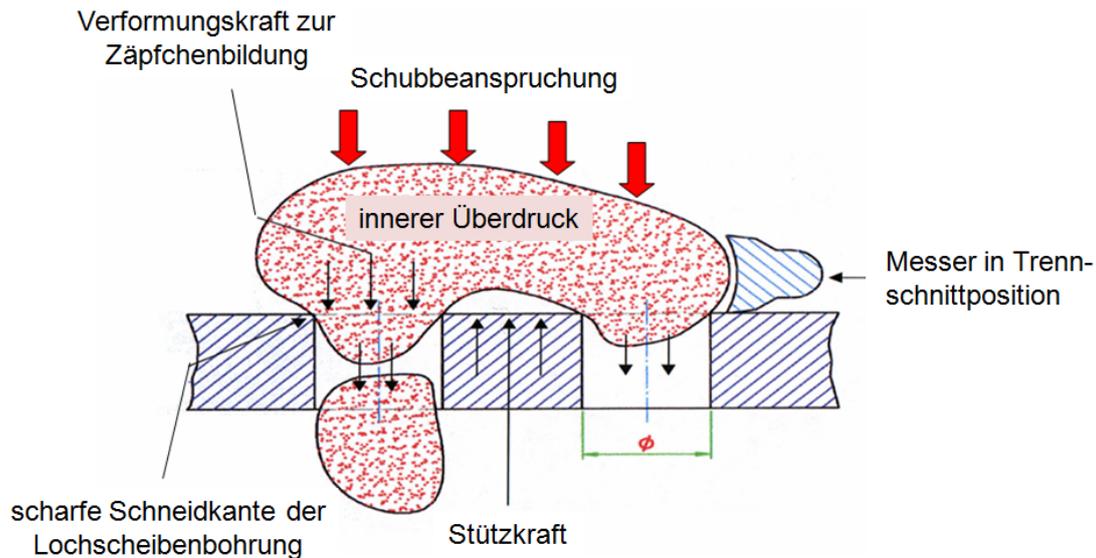


Abbildung 13: Schematischer Ablauf der Fleischzäpfchenbildung beim Wolfen (TIANGUANG, 2008)

Wie viel Kraft zur Rohstoffkomprimierung eingebracht werden muss und wie hoch der Anteil der davon im Rohstoff gespeicherten Kraft ist, welche das Eindringverhalten bestimmt, wurde bis dato nicht im Detail erforscht. Da aber die Wolfmesser unmittelbar auf dieses Eindringverhalten abgestimmt werden müssen, um zum richtigen Zeitpunkt den Rohstoff abscheren und die Fleischzäpfchenbildung optimieren zu können, sind genauere Erkenntnisse hierzu von Bedeutung. Die vorliegende Arbeit soll helfen zu klären, welche Kräfte neben der Rohstoffkomprimierung beim Zerkleinern von Fleisch auftreten und wie das Eindringvermögen des Rohstoffes in die Bohrungen davon beeinflusst wird.

2.1.2.5 Die Trennsätze – Wirkungsweise und Einfluss auf die Qualität

Durch Verwendung spezieller Trennsätze erfolgt die Abtrennung unerwünschter Bestandteile wie von Knochen, Knorpeln, Sehnen, kollagenem Bindegewebe und Fetten aus den Fleischrohstoffen. Ziel ist es, durch die Erhöhung des Magerfleischanteils, die Qualität der Feinerzkleinerung und damit die Ausbeute zu verbessern. Die hergestellten Zwischen- und Enderzeugnisse zeigen unter anderem eine verbesserte Farbe, ein klareres Schnittbild sowie eine höhere Quellfähigkeit des Bräts. Bei guter Qualität kann auch das Separat zum Beispiel als Zusatz bei der Herstellung von Brühwürsten eingesetzt werden, um den Kollagenanteil zu erhöhen. (SIELAFF, 1996) Trennsätze können einen seitlichen (tangential) und/oder zentralen Auslauf aufweisen, wie die Abbildung 14 verdeutlicht. Die Separation kann dabei einmalig oder mehrfach erfolgen und mechanisch (über Schnecken) oder pneumatisch (über Druckluft) vorgenommen werden. (SIELAFF, 1996; ZHAO und SEBRANEK, 1997; WARN-ECKE et al., 1999; HAACK und SCHNÄCKEL, 2008a-d; N.N., 2010d)

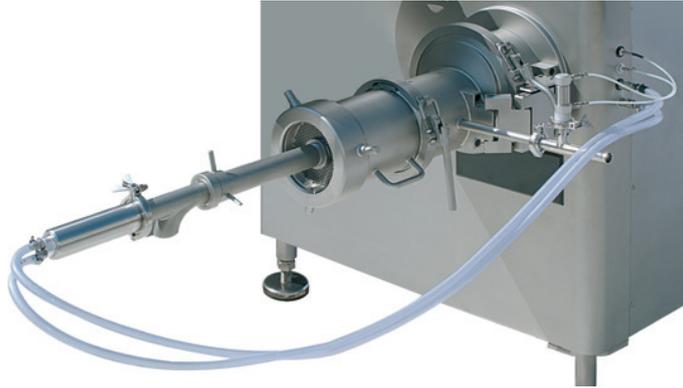


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung für einen Trennsatz mit zentraler sowie seitlicher Ausleitung (N.N., 2010d)

Die Trennsätze bestehen aus den Grundelementen Messer, Lochscheibe sowie speziellen Ausleitsystemen. Die Ausleitsysteme haben die Aufgabe, die zu separierenden Störbestandteile aus dem Schneidsystem heraus zu leiten. Die Trennsätze separieren die stofflichen Bestandteile aufgrund von Dichteunterschieden und infolge einer Druckabsenkung durch die Öffnungen der Ausleitsysteme. So entsteht ein ortsgebundener Rohstoffabfluss. Dieses rohstoffspezifische Abflussverhalten bedingt, dass sich festeres Material mit höherer Dichte im Messerraum ansammelt. Von dort wird es entweder durch druckentspannende Ausleitkanälchen in den Lochscheiben oder bei einfachen Lochscheiben durch eine zentrale Ausleitung abgeführt. Die Trennungsschärfe hängt ab von den Anforderungen an die Weiterverwendbarkeit des aufbereiteten Fleisches sowie des Separates. Das Separat kann in Abhängigkeit vom Ausgangsrohstoff mehr oder weniger Sehnen- und Knorpelanteile enthalten und einen schwankenden Gehalt an Fett- und Bindegewebe aufweisen. (SIELAFF, 1996; ZHAO und SEBRANEK, 1997; WARNECKE et al., 1999; HAACK und SCHNÄCKEL, 2008a-d; N.N., 2010d)

2.2 Der Rohstoff Fleisch

2.2.1 Definitionen und Begrifflichkeiten

Lebensmittel sind laut der EG-VO 178/a Stoffe oder Erzeugnisse, welche im Rahmen der menschlichen Ernährung in unverarbeitetem, teilweise zubereitetem oder verarbeitetem Zustand verzehrt werden. Dazu werden auch Stoffe gezählt, die bei der Herstellung von Lebensmitteln Einsatz finden. (N.N., 2002a)

Aus lebensmittelrechtlicher Sicht besteht **Fleisch** laut der EG-VO 853/2004 aus „allen genießbaren Teilen, einschließlich Blut“ (N.N., 2004).

Die Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse definieren Fleisch als „alle Teile von geschlachteten oder erlegten warmblütigen Tieren“, die für den menschlichen Genuss bestimmt sind, einschließlich Zwerchfell und Kaumuskeln. Dazu zählen die Ske-

lettmuskeln von Tieren mit den „wesensmäßig darin eingebetteten oder damit verbundenen Geweben“, wobei der gesamte Anteil an Fett sowie Bindegewebe die festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten darf. Fettgewebe ist Fett enthaltendes Gewebe, welches vom Fleisch abgetrennt wurde. Es kann auch aus den Körperhöhlen stammen, wobei Darmfett und Gekröse dem nicht zuzurechnen sind. Frisches Fleisch darf zur Haltbarmachung nur gekühlt, gefroren oder schnell gefroren werden und kann unter Vakuum oder in Schutzatmosphäre verpackt sein. (N.N., 2010c)

Fleischerzeugnisse bestehen laut der EG-VO 853/2004 aus verarbeitetem Fleisch oder der Weiterverarbeitung von Fleischzubereitungen und weisen keine optischen Eigenschaften von frischem Fleisch auf, das heißt die innere Muskelfaserstruktur wurde durch die Verarbeitung zerstört. Bei der Herstellung von Fleischerzeugnissen hängen die Anteile an Muskel-, Fett- und Bindegewebe vom jeweiligen Erzeugnis und dessen Spezifizierung ab. (N.N., 2004)

Laut den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse sind für die gewerbsmäßige Herstellung von Fleischerzeugnissen die Skelettmuskulatur mit dem anhaftenden oder eingelagerten Fett- und Bindegewebe einschließlich Lymphknoten, Nerven, Gefäßen und Schweinespeicheldrüsen zugelassen. Zudem geben die Leitsätze in Abhängigkeit von der Herstellungstechnik eine Systematik der Fleischerzeugnisse vor. Eine vorrangige Rolle spielt dabei der Gehalt an bindegewebeseiweißfreiem Fleisch-eiweiß (= BEFFE). (N.N., 2010c)

Auch wenn die Leitsätze keine Rechtsnormen darstellen, ergänzen sie andere Vorschriften wie die EG-VO 853/2004, die Tier-LMHV oder die Fleisch-VO. Die Tier-LMHV definiert Begriffsbestimmungen im Sinne der EG-VO 853/2004, zum Beispiel „Lebensmittel tierischen Ursprungs“ und gibt spezifische Hygienevorschriften oder Anforderungen an die Zerlegung und Behandlung von Fleisch oder an die Herstellung und Behandlung von Hackfleisch, Fleischzubereitungen und Fleischerzeugnissen vor (N.N., 2011d). Die Fleisch-VO gibt an, welche Fleischerzeugnisse nicht in den Handel gebracht werden dürfen, wenn bei deren Herstellung bestimmte Stoffe zugesetzt wurden. Andererseits wird dort geregelt, welche Stoffe gekennzeichnet werden müssen. (N.N., 2007)

Voraussetzung für die Umsetzung der vorgegebenen BEFFE-Grenzwerte ist eine produktbezogene Rohstoffstandardisierung. Dies ist vor dem Hintergrund, dass die Tierart, Rasse, Fütterung oder das Alter die Qualität von Fleisch stark beeinflussen (WENZEL, 1989; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; BRANSCHIED et al., 2007a), in der Praxis nur zu realisieren, wenn man eine gleichbleibende Rohstoffsartierung ermöglichen kann. Das GEHA-Praxishandbuch der Material- und Betriebswirtschaft (BUCKENHÜSKES et al., 2001) versucht für die Herstellung von Wurstwaren eine Rohstoffsartierung und -standardisierung für die zu verarbeitenden Fleisch- und Fettabschnitte vorzunehmen. In Abhängigkeit vom herzustellenden Erzeugnis erfolgt die Sortierung nach der technologischen Wertigkeit der Rohstoffe (Einsatz als Einlage- oder Feinbrätmaterial), nach den wertbestimmenden Fleischbestandteilen (BEFFE,

BE = Bindegewebeseiweiß, Fett, Wasser) und nach der zu verwendenden Verarbeitungstechnik, wie zum Beispiel Wölfe mit Trennsätzen (SIELAFF, 1995; BUCKENHÜSKES et al., 2001).

Im Sinne der Leitsätze werden **Wurstwaren** unter Verwendung von Zutaten, welche geschmackgebend und/oder technologisch erforderlich sind, hergestellt und weisen als zubereitete Endprodukte die Charakteristik eines schnittfesten oder streichfähigen Gemenges auf. Wurstwaren bestehen aus zerkleinertem Fleisch und Fettgewebe sowie zum Teil Innereien oder weiteren Tierkörperteilen. Wurstwaren können geräuchert oder ungeräuchert in oder ohne Hüllen oder in Behältnissen in den Verkehr gebracht werden. Zu den Wurstwaren zählen unter anderem Roh-, Koch- und Brühwürste. (FRIES, 1992; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; N.N., 2010c)

Bei **Brühwürsten** handelt es sich um hitzebehandelte Erzeugnisse, bei denen das Muskeleiweiß „mehr oder weniger zusammenhängend“ koagulierte wurde. Dies führt dazu, dass die Erzeugnisse nach gegebenenfalls erneuter Hitzeeinwirkung schnittfest bleiben. Brühwürste werden untergliedert in: Brühwürstchen (beispielsweise Wiener Würstchen, Bockwurst, Rostbratwurst), fein zerkleinerte Brühwürste (unter anderem Lyoner, Fleischwurst, Leberkäse), grobe Brühwürste (Bierwurst, Kochsalamis, Jagdwurst etc.) und Brühwürste mit Einlagen (zum Beispiel Bierschinken, Zungenwurst). (FRIES, 1992; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; BRANSCHIED et al., 2007b; N.N., 2010c)

Die herzustellenden Brühwurstsorten können unter anderem auch nach der Zusammensetzung (Fleisch, Fett, Wasser), dem Zerkleinerungsgrad (fein, mittelfein, grob) oder der Verzehrsart (gebrüht, gebraten, heiß, kalt) eingeteilt werden (BRANSCHIED et al., 2007b).

Das **Wurstbrät** besteht aus dem zerkleinerten und vollständig oder teilweise aufgeschlossenem rohen und zum Teil füllfertigem Fleisch, welchem Kochsalz oder andere technologisch notwendige Salze (Pökelsalz) sowie Eis oder Trinkwasser zugesetzt wurden (FRIES, 1992; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; BRANSCHIED et al., 2007b; N.N., 2010c).

Der Begriff **Fleischqualität** unterliegt je nach Betrachtungspunkt unterschiedlichen Beschreibungen und ist ein sehr komplexes System, beruhend auf vielen Einflussfaktoren (RING und KORTMANN, 1988; SIELAFF, 1995; BINKE, 2003). Zum Teil finden neben objektiven Definitionen auch subjektive, nicht handfeste Beschreibungen Anwendung. Beispielsweise erwarten Konsumenten eine bestimmte Fleischqualität, deren Qualitätsparameter aber von vielen subjektiven Faktoren wie Herkunft, Alter und Bildungsgrad der Konsumenten abhängen (HAMMOND, 1952). In der wissenschaftlichen Betrachtungsweise kann man unter Fleischqualität zum einen die Muskelfleischqualität über deren Fleischbeschaffenheit verstehen oder zum anderen die Schlachtkörperqualität insgesamt über die Schlachttierkörperzusammensetzung

(SCHARNER, 1997). Verschiedene Autoren definieren die Fleischqualität aber aus ihrer Sicht, so dass keine Vereinheitlichung möglich ist. Beispielsweise kann die Fleischqualität bezogen sein auf die Gesamtheit aller Eigenschaften eines Erzeugnisses, welche dessen Verwendungsmöglichkeit bestimmen (GRUNDKE, 1965). Die Einbeziehung des Genuss- und Nährwertes (SCHARNER und SCHIEFER, 1975) und aller positiven Fleischeigenschaften (SACKMANN et al., 1988) sowie der Betrachtungsweise als Gesamtheit der qualitätsbeeinflussenden Merkmale (SCHARNER, 1997) können den Qualitätsbegriff erweitern. Man kann die Fleischqualität somit auch definieren als „Summe aller sensorischen, ernährungsphysiologischen, hygienischen, toxikologischen und verarbeitungstechnischen Eigenschaften des Fleisches“ (HOFMANN, 1973 und 1987a). Darin eingeschlossen ist die Beschreibung von wesentlichen Qualitätskriterien von Fleisch, siehe ausführlicher in Abbildung 15.

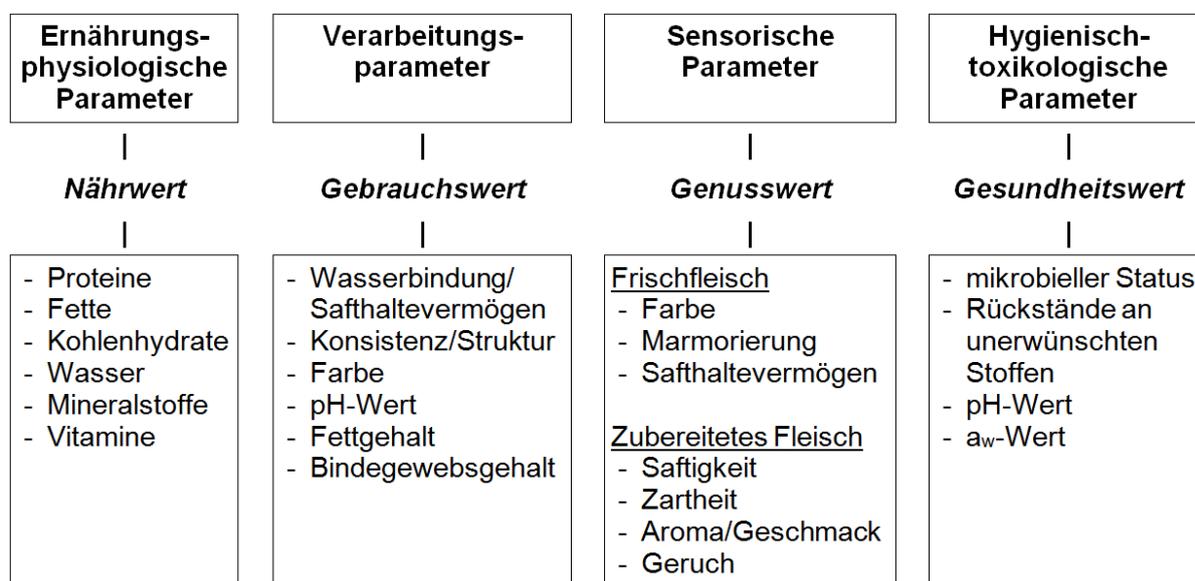


Abbildung 15: Darstellung einiger wesentlicher Qualitätsparameter für Fleisch (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002)

Der Nährwert wird durch Inhaltsstoffe beeinflusst, wobei deren Verwertung und die biologische Wertigkeit der Fleischproteine eine entscheidende Rolle spielen – auch im Hinblick auf die Veränderung der Inhaltsstoffe während der Verarbeitungsprozesse. Aus technologischer Sicht müssen die Rohstoffe je nach Verarbeitungszweck bestimmte Eigenschaften aufweisen. Der Genusswert wird durch die menschlichen Sinne erfasst. Die Haltbarkeit der Produkte soll über Qualitätsparameter kontrolliert werden. Spezielle Anforderungen gelten auch für die Einhaltung von Grenzwerten bezüglich der Belastung mit Mikroorganismen, organischen/anorganischen Rückständen und Toxinen. (WENZEL, 1989; REUTER, 1992; SIELAFF, 1995; BRANSCHIED et al., 2007; FREDE, 2010)

Die einzelnen Qualitätsparameter werden durch eine Vielzahl von unterschiedlichsten Faktoren beeinflusst. Die Tierart, das Geschlecht, die Rasse und Fütterung, das

Alter oder die Haltungsform bestimmen den Nähr- und Gebrauchswert von Fleisch ebenso stark wie den Genuss- und Gesundheitswert. Aber auch die Art und Weise von Transport, Betäubung, Schlachtung und die sich daran anschließende Kühlung, Reifung und Hygiene sowie die eingesetzte Verarbeitungstechnik nehmen einen erheblichen Stellenwert ein. (WENZEL, 1989; WESTPHAL, 2002; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; BRANSCHIED et al., 2007a)

Die Abbildung 16 veranschaulicht einige wichtige Einflussfaktoren auf die Fleischqualität.



Abbildung 16: Darstellung einiger Einflussfaktoren auf die Fleischqualität (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002)

2.2.2 Anforderungen an die zu verarbeitenden Rohstoffe und herzustellenden Erzeugnisse – insbesondere bei der Brühwurstherstellung

Neben dem Preis ist die Qualität der angebotenen Erzeugnisse nach wie vor das wichtigste Verkaufsargument. Ein Augenmerk muss dabei insbesondere auf den Rohstoff Fleisch gelegt werden. Hierbei handelt es sich um ein Naturprodukt, welches je nach wirkenden Einflussfaktoren unterschiedliche Eigenschaften aufweist. (WENZEL, 1989; SCHUCHMANN und SCHUCHMANN, 2005; BRANSCHIED et al., 2007a; TERNES, 2008; OMIOR, 2010). Dies bedeutet, dass durch die variierenden Eigenschaften der eingesetzten Rohstoffe und die konkret eingesetzten technischen Verarbeitungsverfahren die Qualität der Erzeugnisse entscheidend beeinflusst wird. Damit kann nur eine optimale Ausnutzung der jeweiligen Rohstoffeigenschaften die bestmögliche Endproduktqualität gewährleisten.

Aufgrund der Recherche kann festgestellt werden, dass der Gesetzgeber Regelungen für den allgemeinen Umgang mit Lebensmitteln und tierischen Rohstoffen vorsieht oder konkretere Vorgaben prinzipieller Natur in Form von Vorgaben zur Herstellungspraxis sowie dem Inverkehrbringen festlegt. Es fehlen jedoch überwiegend konkrete Anforderungen an die Rohstoffe, deren technologische Eigenschaften, zum notwendigen Zerkleinerungsgrad, der zu nutzenden Zerkleinerungstechnik sowie

dem anzuwendenden Zerkleinerungsverfahren. Die technologischen Eigenschaften und der Zerkleinerungsgrad variieren dabei in starkem Maße in Abhängigkeit vom herzustellenden Endprodukt. Für ausgewählte Produkte sind einige wenige Anforderungen an die zu verarbeitende Rohstoffe von Seiten der Industrie veröffentlicht, ansonsten werden diese oft im Zuge der internen Qualitätskontrolle unternehmens- und produktspezifisch erarbeitet und sind nicht öffentlich zugänglich.

Fleisch kann generell als Warmfleisch, Kühl- und Gefrierfleisch Einsatz finden, wobei diese drei Zustandsformen ein unterschiedliches Wasser- und Fettbindungsvermögen bedingen (BAUMGARTNER, 2001; BRANSCHIED et al., 2007b). Eine gute Bindungsfähigkeit wird durch einen hohen Gehalt an löslichen und quellfähigen Muskeleiweißen hervorgerufen (TÄNDLER, 1984; PRÄNDL et al., 1988; BRANSCHIED et al., 2007). Die besten Zerstörungseigenschaften und das höchste Wasserbindevermögen kann bei der Warmfleischverarbeitung verzeichnet werden, da die Verarbeitung vor Eintritt des Rigor mortis stattfindet. Dies bedeutet, dass Schweinefleisch innerhalb von 3 Stunden post mortem und Rindfleisch innerhalb von 6 Stunden post mortem verarbeitet wird. Im Warmfleisch hat sich der unlösliche Actomyosin-Komplex noch nicht ausgebildet, so dass die Myofibrillen mittels Zerkleinerungstechniken leicht aufgefäsert werden können. (SIELAFF, 1995)

Dessen ungeachtet finden aus logistisch-organisatorischen und betriebswirtschaftlichen Erfordernissen überwiegend gekühltes Schweine- und Rindfleisch oder auch teilweise gefrorenes Fleischrohstoffe Verwendung. Diesen Herausforderungen muss sich die Industrie bei der Wurstwarenproduktion stellen.

Als tierische Rohstoffe finden verschiedenste Fleisch- und Fettgewebe mit dem darin enthaltenen Bindegewebe Einsatz. Einen Überblick über Faktoren, welche die Qualität und damit auch die technologischen Eigenschaften beispielsweise bei der Zerkleinerung beeinflussen, gibt Tabelle 1 wieder. In Abhängigkeit beispielsweise von der verwendeten Tierart und dem Alter werden unterschiedliche Veränderungen der Fleischqualität, besonders in der Zartheit und dem Fettgehalt hervorgerufen.

Tabelle 1: Zusammenstellung wichtiger Qualitätsmerkmale und Verarbeitungseigenschaften von Fleisch (in Anlehnung an WESTPHAL, 2002 und RIMBACH, 2010)

Merkmal	Bemerkung
Struktur bzw. Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> •Einfluss auf: Zartheit •beeinflusst durch: Muskelfaserdicke, Alter, Geschlecht, Reifedauer, Kühlung, Fett- und Bindegewebeanteil, Bindegewebelöslichkeit •Hinweis: junge Tiere haben feinfaseriges Fleisch
Marmorierung	<ul style="list-style-type: none"> •Einfluss auf: Zartheit •beeinflusst durch: Geschlecht, Alter, Ausmästungsgrad •Hinweis: <ul style="list-style-type: none"> - junge Tiere haben weniger marmoriertes Fleisch - eine gute Marmorierung erhöht die Zartheit und Saftigkeit
Fettgehalt	<ul style="list-style-type: none"> •beeinflusst durch: Alter, Fütterung, Haltungsform
Safthaltevermögen	<ul style="list-style-type: none"> •Einfluss auf: Lagerfähigkeit, Haltbarkeit, Wasserbindung, Garverlust •Hinweis: gutes Safthaltevermögen verursacht Anschnitt ohne Saftaustritt
Fremdwasserbindevermögen	<ul style="list-style-type: none"> •Einfluss auf: Brühwurstqualität

Rindfleisch ist Fleisch von Tieren von unterschiedlicher Rasse, Geschlecht und Alter, wie Jungrinder („baby beef“), Kälber (Alter 5 bis 6 Monate), Ochsen und Färsen (Alter 20 bis 30 Monate), Bullen (Alter 14 bis 22 Monate) und Kühe. Aufgrund dieser Vielfalt kann die Fleischbeschaffenheit stark schwanken. So ist Fleisch vom Jungrind zart und leicht faserig, vom Bullen relativ fettarm mit mittlerer bis kräftiger Faserstruktur und durch den höheren Bindegewebeanteil etwas zäher. Fleisch vom Ochsen ist feinfaserig, von der Färse feinfaserig sowie zart und Kalbfleisch ist fettarm, feinfaserig und sehr zart. Vor der Bearbeitung ist eine Reifung (auch „Abhängen“) von mindestens 14 Tagen erforderlich, um die Fleischzartheit zu erhöhen. Das Fleisch von bis zu 2 Jahre alten Tieren wird zumeist für den direkten Fleischverzehr verwendet, da es vergleichsweise zart ist. Nicht zum Verkauf vorgesehene Abschnitte von Kalb-, Jungbullen- und Bullenfleisch werden aufgrund der hohen bis guten Wasserbindefähigkeit als Rohstoff für die Brühwurstherstellung eingesetzt. Bedingt durch die erhöhte Festigkeit von Fleisch älterer Tiere wird dieses, trotz deutlich schlechterer Wasserbindefähigkeit, vorwiegend bei der Herstellung von Wurstwaren wie Brühwurst eingesetzt. (BELITZ, 1992; BAUMGARTNER, 2001; KLETTNER et al., 2003; RIMBACH, 2010; OMIOR, 2010)

Schweinefleisch umfasst Fleisch von Jungtieren wie Ferkel, Spanferkel, Läufer, aber auch jenes von Sauen, Ebern, Borgen und Altschneidern. Zumeist ist der Fettgehalt im Fleisch aufgrund der Züchtung deutlich vermindert. (BAUMGARTNER, 2001) Fleisch von männlichen kastrierten Tieren hat einen höheren Anteil an gesättigten Fetten und eine bessere, da festere Textur als das von weiblichen Tieren (GLÄSER, 2000). Schweinefleisch weist insgesamt eine weiche, zarte sowie feinfaserige Textur auf. Die Reifungszeit sollte mindestens 3 Tage dauern, um eine Verbesserung der Zartheit zu gewährleisten. Fleisch von bis zu 8 Monate alten Jungschweinen geht überwiegend in den Direktverkauf, wobei verbliebene Abschnitte in die Wurstwarenerstellung einfließen, da das Fleisch eine vergleichsweise gute Wasserbindfähigkeit aufweist. Bei höherem Tieralter, zum Beispiel bei Sauen, werden etwa 50 % des Fleisches für Wurstwaren wie Brühwürste verwendet, auch wenn die Wasserbindfähigkeit etwas reduziert ist. (BELITZ, 1992; BAUMGARTNER, 2001; KLETTNER et al., 2003; RIMBACH, 2010)

Geflügelfleisch stammt vorrangig von Jungmastgeflügel, welche als Nutztiere gehalten werden und zum menschlichen Verzehr geeignet sind, beispielsweise Hühner, Puten und Gänse. Da der Fettgehalt artenspezifisch schwankt, wird in Fettgeflügel (Gans, Ente) und Magergeflügel (Huhn, Pute) unterschieden. Durch den veränderten Fettgehalt schwankt die Festigkeit des Fleisches stark. Geflügelfleisch bedarf einer Reifung von nur 24 Stunden. Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist der hohe Gehalt an ungesättigten Fettsäuren positiv. Aus verarbeitungstechnischer Sicht bedingt der höhere Anteil an ungesättigten Fettsäuren eine weichere Textur sowie eine erhöhte Gefahr des Ranzigwerdens. (BELITZ, 1992; KLETTNER et al., 2003; RIMBACH, 2010)

Aus technologischer Sicht sollten die einzusetzenden **Fleischrohstoffe** generell eine hohe „Destruktionsbereitschaft“ zeigen (SIELAFF, 1995). Die Muskelfibrillen können so während der Verwolfung stark zerstört werden und das enthaltene Sarkoplasma wird freigesetzt (HEISS, 1996). Beim Schneiden von Fleisch bestehen generell Unterschiede in der erforderlichen Schneidkraft im Bezug auf Alter, Rasse und Geschlecht (KIM et al., 2007; MILAN, 2011). In Abhängigkeit von der Tierart müssen weitere Anforderungen an die Zerkleinerungstechnik gestellt werden. Geflügelfleisch, zum Beispiel Putenfleisch, ist zarter und elastischer als Schweinefleisch, wobei Rindfleisch am festesten ist (KLETTNER et al., 2003; MILAN, 2011). Dies bedeutet, dass zarteres Fleisch nicht so stark mechanisch belastet werden darf, um keine Qualitätseinbußen hervorzurufen.

Fettgewebe hat einen wesentlichen Einfluss auf den Geschmack, die Textur und die Saftigkeit von Fleisch. Faktoren wie die Tierart, Rasse, Haltungsform, das Alter oder die anatomische Herkunft (KATSARAS et al., 1984; KATSARAS und PEETZ, 1988; BRANSCHIED et al., 2007a; TERNES, 2008) beeinflussen das Fettgewebe und dessen Fettsäuremuster ebenso wie die Fütterung (PRÄNDL et al., 1988; TERNES, 2008; RIMBACH,

2010). Ein Anteil an mehr ungesättigten Fettsäuren senkt die Festigkeit, das Fett wird weicher und neigt stärker zum Ranzigwerden (BAUMGARTNER, 2001; OMIOR, 2010). Weiches Fett bringt auch erhebliche Verarbeitungsprobleme mit sich (DAVENEL, 1999). Je nach Verwendungszweck und Verarbeitungseigenschaften werden unterschiedliche Mischungen von Fettgeweben aus verschiedenen Tieren und anatomischen Dispositionen eingesetzt (PRÄNDL et al., 1988; TERNES, 2008; RIMBACH, 2010). Mit zunehmendem Gewicht der Tiere steigt die Fettqualität sowie der Fettanteil der unteren Speckschicht und innerhalb der Muskulatur. Durch die zunehmende Marmorierung erhöht sich die Zartheit des Muskelfleisches (BAUMGARTNER, 2001; OMIOR, 2010) und für die Zerkleinerung wird weniger Energie benötigt (KIM et al., 2007).

Üblicherweise wird Rinderfett bei der Wurstwarenherstellung nicht verwendet. Fett vom Rind ist sehr fest, da viele gesättigte Fettsäuren enthalten sind (BAUMGARTNER, 2001). Schweinefett ist durch seinen hohen Anteil an Linolsäure weicher als Rinderfett (BRANSCHIED et al., 2007a). Je nach anatomischer Herkunft weist Schweinefett unterschiedliche Festigkeiten auf. Fett aus dem Rücken und Nacken ist fester und findet als Fetteinlage zum Beispiel in Rohwürsten Anwendung. Die Abschnitte von Schulter und Schinken sind weicher und damit eher für die Herstellung von Brühwürsten geeignet. (BAUMGARTNER, 2001)

Sollen allerdings knackige und saftige Brühwürstchen hergestellt werden, findet dessen ungeachtet kerniges, festes Fettgewebe Einsatz (FRIES, 1992). Festere Fette enthalten mehr gesättigte Fettsäuren, wodurch sie einen höheren Schmelzpunkt aufweisen (BAUMGARTNER, 2001; JAKOB, 2005a). Bei Verwendung von Fett ist eine stärkere Fremdwassereinbindung möglich, da eine komplexe netzartige koagulierende Struktur im Wurstbrät ausgebildet wird (HÖGG und KOTTER, 1995; BAUMGARTNER, 2001). Dies und der höhere Schmelzpunkt der Fette verhindern, dass infolge einer Temperaturerhöhung während der Verarbeitung ein Verschmieren sowie ein vermehrter Fettabsatz im Endprodukt entstehen (WIRTH, 1973; TÄNDLER, 1984; SIELAFF, 1995; BRANSCHIED et al., 1998; TERNES, 2008). Voraussetzung für die optimale Ausnutzung der Fetteigenschaften ist, dass Fett bei geringen Temperaturen um ca. 1°C verarbeitet wird (BAUMGARTNER, 2001).

Fette sind für die Herstellung von Brühwurstbrät von essentieller Bedeutung, da sie polare Lipide mit grenzflächenaktiver Wirkung besitzen und damit die Emulgierprozesse unterstützen (MÜNCH, 2004).

Beachtung finden muss auch das enthaltene **Bindegewebe**. Dieses ist eine Sonderform des Fettgewebes. Nacken- und Rückenspeck zeigen eine höhere Festigkeit, da besonders viel Bindegewebe enthalten ist. (BAUMGARTNER, 2001; JAKOB, 2005a)

Oftmals wird bei der Herstellung von Brühwurst Schweineschwarte zur Strukturbildung eingesetzt, welche bis zu 77 % aus Bindegewebe bestehen kann (PEŁCZYŃSKA und LIBELT, 1999). Das in den Fleischrohstoffen enthaltene Bindegewebe wirkt strukturbildend und ist für die Ausbildung des festen Bisses beispielsweise in Brühwürsten verantwortlich. Voraussetzung ist, dass es durch die Zerkleinerungsprozesse nicht zu fein zerschnitten wird. (WIRTH, 1984; PEARSON, 1999; BRANSCHIED et al., 2007b)

Der Anteil an Bindegewebe im reinen Schweinemuskel liegt bei etwa 3,9 bis 6,3 % und im Rindermuskel bei 2,2 bis 6,6 %. Für die Herstellung von Wurstwaren werden aber auch Fleischteile mit einem Bindegewebeanteil von 10 bis 17 % verarbeitet. (PEŁCZYŃSKA und LIBELT, 1999)

Die schwankenden Rohstoffeigenschaften stellen den Prozess der Rohstoffzerkleinerung vor die große Herausforderung, durch eine geeignete Zerkleinerungstechnik die Rohstoffe ohne Qualitätsverlust zu verarbeiten. In Abbildung 17 sind beispielhaft mittels Wolftechnologie hergestellte Zwischen- und Endprodukte aufgezeigt.



Abbildung 17: Mittels Fleischwolf hergestellte Massen für verschiedene Verwendungszwecke (eigene Darstellung)

Es kann der Schluss gezogen werden, dass je nach herzustellendem Erzeugnis und der gewünschten Qualität die Zerkleinerungsbedingungen unterschiedlich sein müssen.

Bei der Rohstoffauswahl können bei der Herstellung von einfachen bis mittleren Qualitäten feinerzkleinerter oder grober Brühwürste weniger wertvoller Rohstoff Einsatz finden, zum Beispiel grob entsehntes oder sehnenreiches fettgewebsarmes Rindfleisch und fettgewebsreiches Schweinefleisch sowie Schweinefett. Höhere Qualitäten erfordern fettgewebsarmes sehnenfreies Rindfleisch, fettgewebsarmes Schweinefleisch und kerniges Fettgewebe. (BRANSCHIED et al., 1998 und 2007b; BAUMGARTNER, 2001)

Während der Verarbeitung soll ein optimal strukturiertes Brät mit hoher thermostabiler Wasserbindung und Fettemulgierung entstehen (SIELAFF, 1995). Das hergestellte

Brühwursterzeugnis soll nach Abschluss der thermischen Behandlung und in Abhängigkeit von der gewünschten Feinheit den typischen Biss (locker-feste Struktur) und die charakteristische Textur (schnittfest, nicht wasserlässig) aufzeigen. Bei feinen Brühwürsten soll eine gleichmäßige rosa-graue Farbe, ein einheitliches klares Schnittbild und eine kompakte homogene Struktur mit gleichmäßigem Zerkleinerungsgrad entstehen, um eine feste aber nicht gummiartige Konsistenz ausbilden zu können. Bei einer groben Brühwurst dürfen keine größeren Sehnenpartikel sichtbar sein und das Schnittbild muss klar sowie die Textur fest sein. (SIELAFF, 1995; BRANSCHEID et al., 1998 und 2007b; PEARSON, 1999; BAUMGARTNER, 2001; TERNES, 2008)

2.3 Funktionelle Eigenschaften und Stoffmechanik von tierischen Geweben und Brühwurstbrät als Grundlage zur Entwicklung effizienterer Schneidsysteme

Für die Bewertung von Verarbeitungseigenschaften, der Produktqualität oder zur Feststellung von strukturellen Veränderungen während technologischer Bearbeitungsprozesse wie beispielsweise dem Zerkleinern ist es erforderlich, die rheologischen Eigenschaften von Lebensmitteln in Form von Stoffkennwerten zu kennen. Diese werden im überwiegenden Maß vom strukturellen Aufbau der zu verarbeitenden Rohstoffe bestimmt. Wesentliche Grundeigenschaften sind die Elastizität, Plastizität, Viskosität und Festigkeit. (TSCHEUSCHNER, 2004)

Die **Rheologie** beschreibt das Deformationsverhalten von Materialien (Flüssigkeiten, Festkörpern oder kolloidalen Systemen). Diese Materialien werden infolge äußerer mechanischer Kräfte (Spannungen) deformiert und/oder beginnen zu Fließen (SZCZESNIAK, 1983; TSCHEUSCHNER, 2003 und 2004). Die Kraft, welche dabei parallel zur Fläche wirkt, wird als Schubspannung (= Scherspannung) bezeichnet (SCHUBERT, 2005). Die Kraffteinwirkung bedingt eine relative Teilchenverschiebung – die Deformation. Ohne Zerstörung des Materials kommt es dabei zu Veränderungen des Aussehens und/oder Volumens. Die Art und Intensität der Deformation wird dabei durch die rheologischen Eigenschaften des Materials sowie der Form und Beanspruchungsart der einwirkenden äußeren Kräfte bestimmt. So können Deformationen elastisch (reversible Verformung), plastisch (bleibende Verformung) oder viskos (Fließen) sein. Es bildet sich ein Gleichgewicht zwischen der durch die äußere Kraft bedingten Deformation und der dadurch aufgebauten inneren Spannung aus. Die innere Spannung wird durch Wechselwirkungen zwischen den dispersen Teilchen oder Molekülen des Materials hervorgerufen. (TSCHEUSCHNER, 1993)

Ein Teilgebiet der Rheologie ist die Texturanalyse. Sie erfasst die Mikro- und Makrostruktur mittels optischer Methoden sowie die Textur. Die Makrorheologie beschreibt Deformationsparameter, das heißt äußere Erscheinungen, welche während der Deformation auftreten. Diese können mit rheologischen Zustandsgleichungen und me-

chanischen Modellen beschrieben werden. Die Mikrorheologie untersucht die stoffliche Zusammensetzung von Materialien und die Art des vorliegenden Gemisches (Lösung oder disperses System). Darüber sollen Wechselwirkungen der Komponenten während der Deformation festgestellt und mittels physikochemischer Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden. Einzelne Einflussfaktoren auf rheologische Wirkungen können damit sehr gut visualisiert werden. Die Texturanalyse zeigt Texturmerkmale auf. Diese spiegeln sich wider durch die beim Betasten und Verzehren hervorgerufenen sensorischen Sinneseindrücke und können über die kinestetische (zum Beispiel Eindrücke beim Kauen, Schlucken) und haptische (Tasteindrücke) Sensorik sowie über instrumentelle Messungen des Deformations- und Bruchverhaltens bestimmt werden. (TSCHUSCHNER, 2004)

Problematisch gestaltet sich in der Lebensmittelherstellung, dass keine idealen Materialien/Körper mit ideal-elastischem und ideal-viskosem Verhalten vorliegen. Vielmehr weisen diese Körper alle rheologischen Eigenschaften (Stoffwerte) in unterschiedlich starker Ausprägung auf. Diese als reale Körper bezeichneten Materialien werden auch als Nicht-Newtonsche Flüssigkeiten bzw. Nicht-Hookesche Festkörper bezeichnet. (TSCHUSCHNER, 1993; SCHUBERT, 2005)

Die Klassifizierung realer Körper in Flüssigkeiten oder Festkörper beruht auf deren Deformationsverhalten bei einer mechanischen Beanspruchung. Alle amorphen Körper werden den Flüssigkeiten zugerechnet, wenn diese bei einer beliebigen Schubspannung zu fließen beginnen. Dabei verändern sie ihre Form irreversibel. Bei reinen Festkörpern (pastöse/plastische Lebensmittel wie kolloidale Lösungen, konzentrierte Suspensionen und Emulsionen) treten bis zur sogenannten Fließgrenze reversible elastische Deformationen auf. Bei Wegfall der Beanspruchung ist der Stoff in der Lage, seine Ausgangsform wieder herzustellen. Nimmt die Belastung weiter zu und wird die rohstoffspezifische Fließgrenze überschritten, folgt eine plastische Verformung. Hierbei kommt es zu einer irreversiblen Strukturveränderungen. Dabei verhalten sich die Rohstoffe und Lebensmittel dann wie Nicht-Newtonsche Flüssigkeiten und sind formbar. Reale Festkörper (Nicht-Hookesche Festkörper) weisen hingegen kombinierte elastische und viskose Stoffeigenschaften wie Viskosität, Fließgrenze, nichtlineare Elastizität, Relaxation und Retardation auf und werden auch als visko-elastische Körper bezeichnet. (TSCHUSCHNER, 1996 und 2004; BROWN et al., 2005)

Da bei Lebensmitteln und ihren Rohstoffen die Grenzen zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern ineinander übergehen, zeigen sich in Abhängigkeit von der Art, Dauer und Geschwindigkeit der Beanspruchung einige rheologische Eigenschaften (Stoffwerte) deutlicher, während andere kaum ins Gewicht fallen. So kann eine kurze Beanspruchung bei einem fließfähigen Material das Verhalten eines elastischen Festkörpers hervorrufen, während durch eine langwierige Beanspruchung ein vermeintlich festes Material einer zähen Flüssigkeit gleich zu fließen beginnt. Andere Materialien zeigen wiederum beide Eigenschaften, sind somit visko-elastisch. Damit treten mehr oder weniger große Abweichungen vom Deformationsverhalten idealer

Körper auf. Dies bedeutet, dass das Deformationsverhalten realer Körper nur annäherungsweise durch die Definition einzelner idealisierter rheologischer Eigenschaften (Stoffwerte) sowie deren Kombination möglich ist. (TSCHEUSCHNER, 1993; SCHUBERT, 2005)

Bei Lebensmitteln wird oftmals eine Unterscheidung in die rheologischen Begriffe „Konsistenz“ und „Textur“ vorgenommen. Alle fließfähigen Lebensmittel weisen eine Konsistenz auf, das heißt es entsteht ein kontinuierliches Geschwindigkeitsgefälle bei Wirkung einer Beanspruchung. Feste Lebensmittel, denen eine Textur zugeschrieben wird, reagieren zumeist mit einer irreversiblen Verformung auf eine Beanspruchung. (KLETTNER, 1994)

Lebensmittel weisen in ihrem Deformations- und Fließverhalten einige spezielle Charakteristika auf. So besitzen die in der Lebensmittelherstellung verarbeiteten tierischen und pflanzlichen Rohstoffe in der Regel eine Zellstruktur, enthalten zwischen 15 und 98 % Wasser sowie verschiedene andere gelöste oder strukturierte Inhaltsstoffe wie Fette, Proteine und Polysaccharide. Die enthaltenen Enzyme bedingen ebenso eine stetige Veränderung der Inhaltsstoffe und der Zellstruktur wie die Stoffwechselprodukte der anwesenden Mikroorganismen. Damit wird direkt Einfluss auf das rheologische Verhalten genommen. Problematisch ist die oft sehr hohe mechanische Empfindlichkeit der Rohstoffe sowie der hergestellten Lebensmittel, wodurch es zumeist zu irreversiblen Strukturveränderungen kommt. Diese schränken die Verarbeitung ein oder schließen eine weitere Nutzung aus. Dies begründet sich in der Tatsache, dass eine definierte strukturelle Beschaffenheit mit speziellen rheologischen Eigenschaften erzielt werden muss, um als Nahrung verzehrt werden zu können. (TSCHEUSCHNER, 1993 und 2004)

Optimierungen in der Lebensmittelverarbeitung erfolgen daher zumeist für die Texturqualität und damit der Beeinflussung der rheologischen Eigenschaften. Die Gewährleistung der jeweils optimalen Struktur für die Rohstoffe und der daraus hergestellten Zwischen- und Endprodukte erfordert somit ein hohes Verständnis für die zu jedem Zeitpunkt vorliegenden Stoffsysteme und rheologischen Eigenschaften (Stoffwerte) sowie das Wissen um Möglichkeiten einer gezielten Beeinflussung der Faktoren, welche rheologische Veränderungen hervorrufen. Da Lebensmittel und deren Rohstoffe aus sehr komplexen Vielkomponentensystemen bestehen, zum Beispiel als mehrphasige flüssige, pastöse oder feste disperse Systeme vorliegen, müssen neben Stoffwerten der jeweiligen Einzelsysteme auch jene für die Gesamtsysteme beachtet werden. Mehrphasige disperse Lebensmittel sind unter anderem pflanzliche (Zellwandgewebe mit Luftbläschen, Zellflüssigkeit und Stärkekörnchen) oder tierische (Eiweißmakromoleküle wie Bindegewebe mit Flüssigkeits- und Fetttröpfchen) Gewebe. Spezielle rheologische Eigenschaften ergeben sich infolge der verwendeten Rezeptur oder des Verarbeitungsverfahrens. Diese nehmen Einfluss auf den molekularen und dispersen Aufbau sowie die chemische Zusammensetzung der Stoffe oder deren Aggregat- und Strukturzustand. (TSCHEUSCHNER, 1993)

Für Zerkleinerungs- und Schneidprozesse im Rahmen der Lebensmittelherstellung ist es notwendig, neben einem Überschreiten der Fließgrenze auch ein Überwinden der Festigkeitsgrenze zu gewährleisten, um ein Brechen des Festkörpers herbeizuführen. Ein Bruch ist das Resultat einer übermäßigen Deformation. Das Verhältnis von Relaxationszeit des Rohstoffes zur Deformationszeit bis zum Eintritt des Bruchs bestimmt dabei die Art des Bruches. Bei einem Spröbruch bricht der Rohstoff ohne vorherige plastische Verformung. Bei einem Verformungsbruch geht eine irreversible Deformation voraus. Beim Zerkleinern und Schneiden von beispielsweise weichen Rohstoffen müssen daher hohe Deformationsgeschwindigkeiten einwirken, um eine plastische Deformation möglichst zu vermeiden. Durch Erhöhung der Viskosität zum Beispiel über eine Temperaturabsenkung kann die plastische Deformation vermindert und der Zerkleinerungsprozess verbessert werden. Mittels einer instrumentellen Texturmessung kann man den Kraftbedarf für die Deformation von Rohstoffen unter anderem über ein Kraft-Weg-Diagramm erfassen. Kommt es bei festen Lebensmitteln zu einer Deformation, verändert sich der Anstieg der aufgenommenen Kraft-Weg-Kurve bis zur maximalen Kraft nicht linear. In Abhängigkeit von der Deformationsgeschwindigkeit ändert sich die Intensität des Anstieges, das heißt bei schnelleren Belastungen ist der Anstieg steiler. Dieses zeitabhängige Verhalten begründet sich in den viskosen oder plastischen Eigenschaften in Kombination mit elastischen Eigenschaften. (TSCHEUSCHNER, 1993 und 2004)

Für die Verarbeitung von biologischen Rohstoffen ist es somit unerlässlich zu wissen, wie sich rheologische Stoffwerte durch bestimmte Faktoren verändern, um gezielt Strukturveränderungen vorzunehmen oder zu verhindern. Einflüsse auf die rheologischen Eigenschaften ergeben sich durch physikalische (mechanische und thermische), chemisch-biochemische (Inhaltsstoffe und Zusätze) oder biologische (Enzyme und Mikroorganismen) Faktoren (TSCHEUSCHNER, 1993 und 2004).

Mechanische Modelle können das komplexe Deformationsverhalten und die charakteristischen Stoffwerte fester Lebensmittel, unabhängig von der Deformationsgeschwindigkeit, zum Teil veranschaulichen. Rheologische Zustandsgleichungen geben in den Modellen das Deformationsverhalten als Funktion der Deformationsgeschwindigkeit bzw. der wirksamen Spannung wieder. Um derartige Modellierungen durchführen zu können sind jedoch spezielle Messmethoden notwendig, welche konstante Bedingungen bezüglich Schubspannung oder Kompression bzw. Relaxation ermöglichen. Nur so können daraus rheologische Stoffkonstanten abgeleitet werden. (DU und TSCHEUSCHNER, 1986)

Aufgrund vielfältiger Einflüsse durch Verarbeitungsprozesse wie Reifung, Gefrieren, Garen und Zerkleinern oder durch biologische Ursachen wie Art, Rasse, Alter oder Fütterung verändern sich die rheologischen Eigenschaften von Fleischrohstoffen stark. Dies erschwert es, für nicht zerkleinerte Fleischrohstoffe geeignete Messmethoden bzw. Modelle zur Bestimmung rheologischer Stoffwerte zu entwickeln. Modelle sind hierfür bisher nur in Ansätzen erforscht und ermöglichen einzig Aussagen

über einzelne Teilaspekte des rheologischen Verhaltens. Zumeist dienen diese rheologische Messmethoden daher nicht der Voraussage von Textureigenschaften sondern werden nachträglich als Teil der Qualitätskontrolle eingesetzt. Seit Jahren wird zwar eine zerstörungsfreie Prüfung der rheologischen Eigenschaften der Fleischrohstoffe vor Verarbeitungsbeginn angestrebt, doch in der Realität ist dies bisher nur für homogene zerkleinerte Erzeugnisse wie Fleischbrät möglich. Eine auf den Verarbeitungsprozess und Verwendungszweck abgestimmte Rohstoffauswahl ist somit nicht möglich. (RAEUBER et al., 1988 und 1993; BELITZ, 1992; BRANSCHIED et al., 2007b)

Muskelgewebe weist in nicht zerkleinertem Zustand die Eigenschaften eines plasto-elastischen Stoffes auf. Infolge der Zerkleinerung überwiegen visko-elastische Eigenschaften. Bei Zugabe von Wasser liegt ein viskoses Verhalten vor, welches stark von der Intensität der Zerkleinerung und dem Wassergehalt beeinflusst wird. (HAMM und RIESNER, 1968 und 1967; SOKOLOW, 1980)

Es ist zu beachten, dass die unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften von Muskelgewebe sich in dessen unterschiedlicher Funktion im Organismus begründen. Das heißt liegt Muskelgewebe als glatte Eingeweidemusculatur, als quergestreifte Skelettmusculatur (Fleisch) oder als quergestreifte Herzmusculatur vor (HAMM, 1981; TSCHUSCHNER, 1993; SCHWÄGELE, 2003 und 2004). Auch das perimysiale Netz bestimmt die Fleischeigenschaften, da zwischen den Faserbündeln Fettgewebe, welches für die Marmorierung verantwortlich zeichnet, eingelagert sein kann (HAMM, 1972a; KATSARAS und PEETZ, 1988; REAUBER, 1993; SCHWÄGELE, 1998; SCHWÄGELE, 2003 und 2004).

Der Zeitpunkt der Fleischverarbeitung nimmt einen wesentlichen Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften. Kurz nach dem Tod ist der Muskel noch weich, schlaff und trocken und kann reversibel gedehnt und komprimiert werden. Im zeitlichen Verlauf kommt es zum Eintritt der Totenstarre, des Rigor mortis, infolge dessen sich das unlösliche Actomyosin bildet. (BELITZ, 1992; TSCHUSCHNER, 1993; KLETTNER et al., 2003; HOPKINS et al., 2011; MILAN, 2011)

Unmittelbar im Rigor mortis ist das Fleisch damit sehr fest. Während der Reifung finden postmortale Veränderungen im Fleisch statt, welche die rheologischen Eigenschaften der Muskelfasern beeinflussen. (TOTH und HAMM, 1969; HAMM und REDE, 1972; REDE und HAMM, 1973; HAMM und REDE, 1975; PAYNE und RIZVI, 1988)

Durch proteolytische Veränderungen kommt es zur Auflösung des Actomyosin-Komplexes, wodurch das Fleisch wieder weich und zart wird, eine Dehnung und Komprimierung ist jedoch irreversibel (BELITZ, 1992; TSCHUSCHNER, 1993; KLETTNER et al., 2003; HOPKINS et al., 2011; MILAN, 2011). Die Festigkeit (hier als Schneidkraft gemessen) reduziert sich zum Beispiel bei Muskelfleisch vom Rind durch die Lagerung um bis zu 55 % (KLETTNER et al., 2003; LAGERSTEDT et al., 2008).

Von technologischer Bedeutung sind PSE- und DFD-Fleisch, da diese eine Qualitätsabweichung vom gewünschten rheologischen Profil der Fleischrohstoffe darstellen (BELITZ, 1992; RAEUBER, 1993; BRANSCHIED et al., 2007). PSE-Fleisch weist eine

weiche und wässrige Textur auf, wogegen DFD-Fleisch fest und trocken ist (OMIOR, 2005; BAUMGARTNER, 2007).

Aus maschinentechnischer Sicht wurde durch HAACK (2011) versucht, eine Definition für die rheologischen Eigenschaften von nicht zerkleinertem Frischfleisch zu erarbeiten. Nach seiner Auffassung weist zerlegtes Fleisch bei Temperaturen von ca. $-1,5$ bis $+7^{\circ}\text{C}$ unter hoher mechanischer Belastung eine geringe Formstabilität auf, wobei dessen „hohe Verformungs- und Festigkeitseigenschaften“ einer Zerstörung der inneren Struktur entgegen wirken. Damit zeigt Fleisch während der Verarbeitung die Eigenschaften eines Festkörpers, zum Beispiel entsteht ein Widerstand „gegen Schnitt, Schub und Druck“. Beim Schneidvorgang werden laut seiner Definition hohe innere Spannungen überwunden bzw. wird die während der Komprimierung aufgewendete Kraft im Fleisch gespeichert. Durch das während der Zerkleinerung aus den beschädigten Muskelzellen austretende Plasma „bildet [sich] eine sehr gute Gleitschicht zwischen Rohstoff und Werkzeug“. Im Zusammenspiel mit den Verformungs- und Festigkeitseigenschaften verursacht dies ein „stoffliche[s] Fließen“. Die Höhe der aufzuwendenden Zerkleinerungskraft ist nach HAACK (2011) unter anderem abhängig vom Bindegewebeanteil, der Temperatur und Faserorientierung sowie den Gleiteigenschaften.

Bei der Zerkleinerung von Fleisch bei Temperaturen leicht unter dem Gefrierpunkt erhöht sich die Festigkeit des Rohstoffes, so dass sich infolge dessen der Kontakt mit dem Schneidwerkzeug intensiviert. Daher muss beachtet werden, dass mehr Reibungskraft entsteht und damit eine deutliche Erhöhung der Gesamtkraft möglich ist. Bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt tritt eine leichte Reduzierung des Kraftaufwands ein, da die Reibungskraft sinkt. (BROWN et al., 2005)

Neben ANONYMOUS (1980) und SHEARD et al. (1989) stellten auch ZHAO und SEBRANEK (1997) fest, dass in stärker gefrorenem Zustand viele kleine und unregelmäßig große Partikel (Fleischzäpfchen) beim Wolfen entstehen (75 %), wogegen bei weniger stark gefrorenen Rohstoffen die Partikelgröße zunimmt und gleichmäßiger wird (45 %). Gekühltes Fleisch zeigt wiederum mehr große und längere Fleischzäpfchen als leicht angefrorenes Material (ZHAO und SEBRANEK, 1997). Eine tiefere Verarbeitungstemperatur geht zum Teil mit mehr als einer Verdopplung der Partikeloberfläche pro Gramm Probe einher. Gleichzeitig erfolgt eine Abnahme der Länge und des Volumens der entstehenden Fleischzäpfchen. (SHEARD et al., 1990 und 1991a)

Dieses Verhalten kann nach MUNRO (1983) und KERRY et al. (2005) mit der temperaturabhängigen Veränderung der Textureigenschaften des Rohstoffes Fleisch begründet werden. Fleisch weist bei tieferen Gefriertemperaturen (kleiner -10°C) ein sprödes Bruchverhalten auf. Bei Temperaturen von -10 bis -5°C tritt ein plastoelastisches Zerkleinerungsverhalten ein, infolge dessen mehr Deformation für die Ausbildung eines Bruches aufgebracht werden muss. Bei -3 bis -2°C setzt ein reiner

Schneidprozess ein, da kein Eis mehr im Rohstoff vorliegt. Dies hat zur Folge, dass die Fleischstruktur weicher wird.

Da die Muskelzellen stets in Kombination mit anderen Geweben, vor allem mit Bindegewebe vorkommen, ergeben sich hieraus veränderte Deformationseigenschaften.

Bindegewebe bildet den größten Anteil des unlöslichen Proteinmaterials (BELITZ, 1992). Es weist eine hohe Flexibilität und Zugfestigkeit auf (TSCHEUSCHNER, 1993). Die Grundsubstanz bestimmt dabei die wasserbindenden sowie visko-elastischen Eigenschaften der Bindegewebefasern (BÜNTE, 2003; BRANSCHIED et al., 2007b). In Abhängigkeit von der funktionellen Beanspruchung im Gewebe liegen kollagene (zugfeste), retikuläre (biegungselastische) und elastische (zugelastische) Bindegewebefasern vor (FALLER, 1999; BRANSCHIED et al., 2007b). Bedeutsame Bindegewebe aus technologischer Sicht sind kollagene und elastische Bindegewebe, da diese festigkeitsbeeinflussende Eigenschaften aufweisen (TSCHEUSCHNER, 2004).

Kollagenes Bindegewebe besteht zu 20 bis 25 % aus Kollagen (BELITZ, 1992; PEARSON, 1999; TSCHEUSCHNER, 2004; TERNES, 2008). Dieses ist für die komplexen physikalischen Eigenschaften wie zum Beispiel eine extrem hohe Zugfestigkeit und Beweglichkeit bei gleichzeitig hoher Biogsamkeit verantwortlich (BELITZ, 1992; BÜNTE, 2003; WELSCH, 2006). Sehr viele parallelfaserig in Zugrichtung angeordnete Kollagenfasern sind im straffen Bindegewebe enthalten und bilden Sehnen aus (FALLER, 1999; ULFIG, 2005; BRANSCHIED et al., 2007b). Kollagene Fasern können durch Reifungs- und Garprozesse verändert werden, wodurch das Fleisch zarter wird (TSCHEUSCHNER, 1993; TERNES, 2008). Der Energiebedarf für den Wolfprozess und die Kraft zum Schneiden steigen an, wenn der Kollagenanteil steigt (KAMDEM und HARDY, 1995a).

Elastisches Bindegewebe besteht aus Elastin, welches gummielastische Fasern bildet. Diese lassen sich durch ihre geknäulte Form um ein Vielfaches (bis zu 150 %) reversibel ausdehnen. (KARLSON, 1988; BELITZ, 1992; MÜLLER-ESTERL, 2004; BRANSCHIED et al., 2007b)

Hauptsächlich sind die Elastinfasern für die Kraftaufnahme und Verformung verantwortlich, da sie die Deformationsenergie bei Bewegung des Muskels speichern und eine Rückverformung des Gewebes bei Wegfall der äußeren Kräfte ermöglichen. Mit zunehmendem Alter der Tiere kommt es zu einer Verstärkung der Faservernetzung, wodurch das Fleisch zäher wird. (BELITZ, 1992; TSCHEUSCHNER, 1993; REAUBER, 1993; PEARSON, 1999; TERNES, 2008)

Fettgewebe stellt eine modifizierte Form des retikulären Bindegewebes dar (FALLER, 1999; TSCHEUSCHNER, 1993), wobei in jeder Fettzelle des univakuolären Fettgewebes ein Tröpfchen Triglycerid enthalten ist. Die mechanischen Eigenschaften des Fettgewebes hängen unmittelbar von der Temperatur ab, da die Fetttröpfchen entweder in flüssiger oder erstarrter Form vorliegen. (TSCHEUSCHNER, 1993)

Auch die anatomische Herkunft der Fettgewebe bestimmt die Deformationseigenschaften. Eine Unterteilung von Fettgewebe kann in Depot- oder Speicherfett (subku-

taner Fettgewebe, Körperhöhlenfettgewebe) sowie in inter- und intramuskuläres Fettgewebe erfolgen. Das für die Fleischmarmorierung verantwortliche intramuskuläre Fettgewebe bestimmt damit die Zartheit und Saftigkeit des Fleisches. (WIRTH, 1972; FISCHER, 1989; SIELAFF, 1996; BRANSCHIED et al., 2007b; TERNES, 2008)

Mit zunehmender Marmorierung wird das Fleisch zarter (BAUMGARTNER, 2001; KIM et al., 2007; OMIOR, 2010).

Entscheidend für die Festigkeit der Fettgewebe und dessen rheologische Eigenschaften ist das Verhältnis von gesättigten zu ungesättigten Fettsäuren, das heißt mehr ungesättigte Fettsäuren führen zu einem weicheren Fett (POTTHAST, 1981; DAVENEL, 1999; MÜNCH, 2004).

Bei der Verwolfung fettreicherer Rohstoffe muss beachtet werden, dass beispielsweise bei einer Vervielfachung des Fettanteils bis zu 500 % mehr Druck aufgebracht werden muss, um den Rohstoff mit Hilfe der Schnecke gegen die Schneidwerkzeuge zu pressen. Durch die sehr hohe Druckbelastung erhöht sich die Reibung im System, was zu einem Anstieg der Produkttemperatur führt. Der geschnittene Rohstoff weist infolge dessen Fettverschmierungen auf und das typische, klar strukturierte Aussehen von beispielsweise Hackfleisch und Rohwurst geht verloren. (ZHAO und SEBRANEK, 1997)

Brühwurstbrät ist ein kolloidales System. Voraussetzung für die Herausbildung der gewünschten technologischen Eigenschaften sowie der Struktur von Brühwurstbrät ist eine mechanische Zerkleinerung der Muskelzellen unter Aufbrechen des Sarkomlemm. Nur so können die Eiweißfilamente Actin und Myosin freigesetzt werden. Diese sind dann in der Lage, nicht nur fleisch- und zelleigenes Wasser sondern auch zugesetztes Fremdwasser zu binden. Infolge dessen beginnen sie zu quellen und/oder gehen in Lösung und bilden das gewünschte netzartige Eiweißgerüst aus. Erst dann kann in einem weiteren Schritt das feinzerkleinerte Fett in die Eiweißmatrix eingebunden werden, welches das Brühwurstbrät auch während der nachfolgenden Hitzebehandlung stabil hält. (WIRTH, 1984; HÖGG und KOTTER, 1995; BRANSCHIED et al., 2007b)

Durch den Eintrag von Reibung, welche die Ausbildung einer Emulsion unterstützt, und durch das der Rezeptur zugesetzte Salz wird aus den zerkleinerten Muskelfasern das fibrilläre Muskeleiweiß „herausgerieben“ (HÖGG und KOTTER, 1995).

Brühwurstbräte stellen in diesem Zusammenhang ein sehr komplexes Lebensmittelsystem dar, da sie rheologische Eigenschaften kolloidaler Flüssigkeits-Feststoff-Gemische (Suspensionen) und visko-elastischer Festkörper in sich vereinen. In einer flüssigen Komponente, welche unter anderem gelöste Proteine und Mineralstoffe enthält, befindet sich die feste Phase, bestehend beispielsweise aus Zellresten, Myofibrillen, Fetttröpfchen oder gequollenen myofibrillären Proteinen. Die rheologischen Eigenschaften der Fleischrohstoffe, welche die festen Phasenbestandteile bilden, schwanken sehr stark. Grund hierfür sind rassen-, fütterungs- und schlachtungsbedingte Faktoren sowie postmortale Einflüsse über den pH-Wert, eine Salzzugabe bei der Verarbeitung oder den Zerkleinerungsgrad. (RIZVI, 1981; RAEUBER, 1993)

Die visko-elastischen Eigenschaften der festen Brätbestandteile bedingen bei Einwirkung einer Schubspannung, dass die Festkörperstruktur beim Überschreiten der Fließgrenze zusammenbricht und ein visko-plastisches Fließen einsetzt (GORBATOV und GORBATOV, 1970 und 1974; SOKOLOW, 1980). Das rheologische Fließverhalten von Fleischbrät wird daher als pseudo-plastisch bezeichnet. Häufig wird mit Hilfe verschiedener Fließmodelle versucht, das Fließverhalten, welches je nach Zerkleinerungsgrad linear-plastisch (Bingham-Modell) oder nichtlinear-plastisch (Herschel-Bulkley-Modell, Casson-Ansatz) sein kann, über Zustandsgleichungen zu beschreiben. (TOLEDO et al., 1977; KIEßLICH und RAEUBER, 1981; PAYNE und RIZYL, 1988; BARBUT und MITTAL, 1989; HAMMER, 1999; HAMMER und STOYANOV, 2004)

Einen erheblichen Einfluss auf das rheologische Verhalten von feinzerkleinertem Fleisch haben auch das Wasserbindevermögen und die Quelleigenschaften der fibrillären Proteine. Aber auch das Reifestadium des Fleisches, der Anteil an Fettgewebe im Muskelfleisch oder die Art der äußeren Einflüsse während der Beanspruchung, welche zum Beispiel über Temperatur oder Druck entstehen, verändern die rheologischen Eigenschaften. Mit steigendem Wasserbindevermögen quillt das Fleisch stärker, wodurch die innere Reibung im Rohstoff steigt und sich die rheologische Kenngröße Viskosität erhöht. Steigt der Anteil an zugesetztem locker gebundenem Wasser, verschlechtern sich die rheologischen Eigenschaften wie Fließgrenze, Scherkraft und Viskosität. (HAMM und RIESNER, 1967 und 1968; TOTH und HAMM, 1968; GORBATOV und GORBATOV, 1970 und 1974; HAMM, 1972b und 1975; SOKOLOW, 1980; BURGER und ACTON, 1984)

2.4 *Einfluss von Zerkleinerungsprozessen auf relevante qualitative und ernährungsphysiologische Eigenschaften von Fleisch und Fleischprodukten*

Die Qualität von Wurstwaren kann sich vermindern, indem sich das farbliche Erscheinungsbild oder die Textureigenschaften des Erzeugnisses verändern oder durch inhaltsstoffliche Veränderungen die ernährungsphysiologische Wertigkeit des Lebensmittels abnimmt.

Qualitätsveränderungen, die durch Zerkleinerungsprozesse verursacht werden, ergeben sich durch den Einfluss von zum Beispiel Temperatur und Druck auf den Rohstoff. Dadurch verändern sich unter anderem dessen Textur oder die Koagulationsfähigkeit der Eiweiße und somit die sensorische oder ernährungsphysiologische Qualität. Die Verarbeitungsqualität von beispielsweise Hackfleisch und Brühwurstbrät und daraus schlussfolgernd die Erzeugnisqualität wird dadurch wesentlich beeinflusst. (MALIKI, 1951)

2.4.1 *Beeinflussung qualitativer Eigenschaften von Brühwurstbrät*

2.4.1.1 Einfluss der Temperatur

Haupteinflussfaktor auf die Temperaturentwicklung ist die Reibung. Diese entsteht durch mechanische Einwirkungen auf den Rohstoff, zum Beispiel infolge des Entlanggleitens an Wandungen, durch das Durchtrennen mit Hilfe von Werkzeugen, durch den Druckaufbau oder durch Schubbeanspruchungen. Beim mechanischen Verarbeiten von Fleisch kommt es durch das Vorbeigleiten des Werkzeuges und der dabei entstehenden Reibung an den Enden der durchtrennten Muskelfibrillen zur Vermischung der Membranstruktur mit dem Zellplasma. Zellflüssigkeit tritt aus und es kommt zum Schmieren. (MALIKI, 1951)

Unmittelbar nach dem Zerkleinerungsprozess für beispielsweise die Hackfleischherstellung im Wolf darf eine Kerntemperatur von maximal 2°C nicht überschritten werden (N.N., 2004, 2006b, 2009b und 2011d). Somit muss der Verarbeitungsprozess schnell und ohne viel Wärmeeintrag in den Rohstoff erfolgen, um diese Temperaturforderungen einzuhalten.

Die angestrebte Endtemperatur des hergestellten Brühwurstbräts hängt ab von der verwendeten Zerkleinerungstechnik und dem zu erzielenden Zerkleinerungsgrad. Für im Kutter hergestelltes Brät sollte in Abhängigkeit von der Verwendung von Kutterhilfsmitteln (auf Citrat- oder Phosphatbasis) eine Temperatur von 8°C nicht unter- und etwa 15°C nicht überschritten werden. Einen Einfluss weisen vor allem Mikrotemperaturen im Rohstoff aufgrund der Reibungswärme von bis zu 60°C im Schnittbereich der Kuttermesser auf, was zu Eiweißveränderungen führt. Um die entstehende Reibungswärme abzufangen, ist Eis oder Eiswasser einzusetzen. (WIRTH, 1984; FELBER und JAKOB, 1987; PEARSON, 1999; JAKOB, 2005b; EISENBRAND et al., 2006; BRANSCHIED et al., 2007b)

Es lässt sich schlussfolgern, dass je nach Zerkleinerungsanspruch der Wärmeeintrag minimiert (Hackfleisch zum Rohverzehr und für die Rohwurstherstellung) oder optimiert (Brühwurst: definierter Wärmeeintrag für die Emulgierung) werden muss. Da die Temperatur während der Verwolfung durch den Eintrag an Reibung in das Brät bestimmt wird, ist die Kenntnis über den Anteil an Reibung beim Zerkleinern von Fleisch entscheidend für die Prozessführung. Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit, unter anderem diesen Energieeintrag zu beschreiben, ist daher essentiell für weitere Prozessoptimierungen.

2.4.1.2 Einfluss des Wasserbindevermögens

Während der Herstellung von Brühwurstbrät kann es durch nicht optimal geführte Zerkleinerungsprozesse zu einer Zerstörung der Eiweißmatrix kommen. Dies bedingt

Bindungs- und Strukturmängel wie ein ungenügendes Wasserbindevermögen für eigenes oder zugesetztes Wasser. (HONIKEL, 1986; BRANSCHIED et al., 2007b)

Während der mechanischen Zerkleinerung des Fleisches sollen die Myofibrillen zerschlagen werden, damit das im Sarkoplasma enthaltene fibrilläre Eiweiß austreten kann. Nur so können sich die wasserbindenden Eigenschaften entfalten und zur Strukturbildung von Brühwurstbrät beitragen. Eine stabile Brät emulsion kann nur durch Freisetzung von genügend Sarkoplasma erzielt werden. (HEISS, 1991; BRANSCHIED et al., 2007b)

Durch eine zunehmende Zerkleinerung erhöht sich die Quellfähigkeit und damit das Wasserbindevermögen von Fleisch, da durch das verstärkte Aufbrechen der Muskelzellen mehr Myofibrillen freigesetzt werden. Dies ermöglicht das Einlagern von mehr Wasser in das Eiweißgerüst, wodurch dieses zwar auseinander gedrückt wird aber als stabile Netzstruktur erhalten bleibt. Das stärkere Quellen und die höhere Wasserbindung fein zerkleinerten Fleisches werden bei der Herstellung von Brühwurstbrät ausgenutzt. (HAMM, 1973; HONIKEL, 1981; OELKER und DEHMLow, 1988; KATSARAS, 1991; HONIKEL, 2004)

2.4.1.3 Einfluss des Fettbindevermögens

Eine zu starke oder zu geringe Zerkleinerung von Fettgewebe beeinflusst die Bindungs- oder Strukturbildungsfähigkeit von Brühwurstbrät erheblich und resultieren in einer eingeschränkten Fettbindung (BRANSCHIED et al., 2007b). Zu viel Zerkleinerungsleistung wirkt sich nachteilig aus, da die bindegewebehaltigen Zellwände stark zerstört werden und das Fett in kleinen Tröpfchen austreten kann. Diese Tröpfchen erzeugen eine große Oberfläche, so dass die Eiweißmatrix nicht um alle Fetttröpfchen aufgebaut werden kann. Das Eiweißnetz ist dann zu locker oder zu dünn und kann beim Versuch, eine hohe Menge Fett einzulagern, unter thermischer Beanspruchung reißen. Die Fetttröpfchen treten aus, wodurch ein Freiraum entsteht, in welchem sich das Fett ansammelt. Es entsteht eine Fettsammlung, welche die sensorische Qualität (Fettabsatz, Fettschmierfilm) und die Haltbarkeit (höhere Anfälligkeit gegen Fettoxidation) der Erzeugnisse stark einschränkt. Eine inhomogene Verteilung der Fette und ein Ungleichgewicht von Myosin und Kollagen in der Rezeptur unterstützen diesen Effekt. Während der Verarbeitung kommt es dazu, dass sich Myosin und darum herum Kollagen als dünne Schicht um die Fetttröpfchen anlagern. Die Fetttröpfchen können dann nur ungenügend in die Eiweißmatrix eingelagert werden, weil zu wenig gelöste Muskeleiweiße vorliegen, die das netzartige Geflecht aufbauen können. Während der Erhitzung schrumpft dann zum einen das Kollagen und durch dessen Umwandlung in Gelatine löst sich der schützende Film um die Fetttröpfchen auf. Somit liegen Tröpfchen aus freiem Fett und gelöster Gelatine im Brät vor. Zum anderen treten die nicht gebundenen Fetttröpfchen aus. Ein starker Geleeabsatz in Verbindung mit einem Fettabsatz ist nach der thermischen Behandlung die Folge. Dadurch verschlechtert sich die sensorische Qualität nach einer Wiedererwärmung

des Erzeugnisses (zum Beispiel von Bockwurst) und die Lagerfähigkeit nimmt deutlich ab. Bei einer unzerstörten Zellwand besitzen Fette eine eigene umhüllende Membran, so dass intakte Zellen einfach in das Eiweißnetzwerk eingebunden werden können. (WIRTH, 1984; PEARSON, 1999; BRANSCHIED et al., 2007b)

2.4.1.4 Sensorische Eigenschaften von Brühwürsten

Die Zerkleinerung hat Auswirkungen auf die sensorischen Eigenschaften von Fleisch und Fleischerzeugnissen.

Die **Textur** wird hauptsächlich durch die Qualität der hergestellten zerkleinerten Fleischpartikel oder die Intensität der Emulgierung beeinflusst. Die während des Wollens entstehenden Fleischzäpfchen sind üblicherweise unregelmäßig geformt, weisen eine stark zerklüftete Oberfläche auf und liegen in unterschiedlichen Größen ohne klares Schnittbild vor. Die Form, Oberflächenbeschaffenheit und Größe der Fleischzäpfchen beeinflusst jedoch entscheidend die Quellung und damit neben der Textureigenschaft der Endprodukte auch den Geschmack. (MALIKI, 1951)

Im Allgemeinen ist mit zunehmender Zerkleinerungsdauer ein Anstieg des Zerkleinerungsgrades festzustellen (HÖGG und KOTTER, 1995).

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Zerkleinerung von Fleisch-, Fett- und Bindegewebe ist eine separate Vorzerkleinerung der einzelnen Gewebe theoretisch am günstigsten. Binde- und fettgewebereicheres Fleisch sollte dabei weniger intensiv zerkleinert werden. In der Praxis wird binde- und fettgewebearmes Muskelfleisch daher zumeist separat und sehr intensiv zerkleinert, um die Freisetzung von Actin und Myosin zu fördern. Bindegewebe sollen so weit, jedoch nicht zu stark vorzerkleinert werden, bis keine sichtbaren Partikel mehr vorliegen. Fettgewebe ist nur so weit zu zerkleinern, bis es in der Brätmasse nicht mehr sichtbar ist. (WIRTH, 1984; PEARSON, 1999; BRANSCHIED et al., 2007b)

Die Textur- und Hitzestabilität der Brätmasse hängt dabei unter anderem von der Größe der Fettpartikel ab. Je nach Zerkleinerungsintensität werden die Fetttröpfchen in die Eiweißmatrix eingebunden (Größe 0,3 bis 55 μm) oder bilden die eigentliche Grundstruktur der Emulsion ($< 0,2 \mu\text{m}$). Größere Fetttröpfchen ($> 0,75 \mu\text{m}$) bilden eine eckige Form und bestimmen die physikalischen, das heißt strukturellen Eigenschaften der Eiweißmatrix. (LIN und ZAYAS, 1987; BARBUT, 1988; ANDERSSON et al. 2000; KOLAKOWSKA und SIKORSKI, 2011)

2.4.2 *Beeinflussung ernährungsphysiologischer Eigenschaften von Brühwürsten*

Lebensmittel wie Wurstwaren bestehen zumeist aus einem Gemisch von unterschiedlichsten Makro- (Fett, Protein, Kohlenhydrate) und Mikronährstoffen (Vitamine, Mineralstoffe, Spurenelemente) und enthalten Würz- oder Farbstoffe. Der Anteil der

Muskulatur mit dem anhaftenden oder eingelagerten Fett- und Bindegewebe sowie die ernährungsphysiologische Wertigkeit der Gewebekomponenten werden unter anderem durch Faktoren wie Tierart, Geschlecht, anatomische Herkunft, Fütterung oder Rasse bestimmt. Zudem ist die Rezepturzusammenstellung von Bedeutung. (BRANSCHIED et al., 2007b)

So wird die ernährungsphysiologische Wertigkeit von Wurstwaren durch den Anteil an binde- und fettgewebefreiem Fleisch sowie dessen relativem Anteil am Gesamtfleisch bestimmt. Die Summe aus Bindegewebeseiweiß (BE) und Bindegewebeseiweißfreiem Fleischeiweiß (BEFFE) entspricht dem gesamten Fleischeiweiß (FE), wobei das bindegewebeseiweißfreie Fleischeiweiß höherwertiger ist. Die Leitsätze für Fleisch- und Fleischerzeugnisse legen für die jeweiligen Wurstwaren eine Untergrenze für den BEFFE-Gehalt fest, um einen Mindestanteil an magerem Muskelfleisch in der Rezeptur zu garantieren. (N.N., 2010c; RIMBACH, 2010)

In Abhängigkeit vom herzustellenden Fleischerzeugnis liegt der BEFFE-Gehalt bei 7,5 bis 14 %. Der chemisch bestimmte Anteil an BEFFE im Fleischeiweiß darf 75 bis 85 % nicht unterschreiten und histometrisch bestimmt sollte er sich zwischen 50 bis 75 Vol.-% orientieren. (PEŁCZYŃSKA und LIBELT, 1999)

Aus der Recherche kann nicht abgeleitet werden, dass sich die ernährungsphysiologische Qualität von Wurstwaren durch quantitative Verluste infolge der Rohstoffzerkleinerung verändert. Es kann jedoch eine relevante Einflussnahme auf die Qualität der enthaltenen Fette durch Zerkleinerungsprozesse herausgestellt werden, da eine erhöhte Oxidationsbereitschaft hervorgerufen werden kann. Nach MONAHAN et al. (1990) ist die Oxidation der Nahrungsfette während der Lagerung vorrangig für nachteilige Qualitätsveränderungen von Fleisch- und Wurstwaren verantwortlich. Einflussfaktoren, welche die Fettoxidation fördern, sind unter anderem Sauerstoff, Wasser, Wärme und Licht sowie die Anwesenheit von Eisen und Kupfer als auch des Weiteren das Vorhandensein von Mikroorganismen (FRANZKE, 1996).

Für unterschiedlich stark zerkleinerte und anschließend gegarte Erzeugnisse, im speziellen für Bockwurst, sind in der Literatur keine Untersuchungen zum Verlauf der Fettoxidation über die Lagerdauer vorhanden. Für rauch-thermisch behandelte und bei 4 bis 7°C vakuumverpackt gelagerte Brühwürste wie Bockwurst werden typische Lagerzeiten mit ca. 14 bis 30 Tagen angegeben (HILSE, 1984; BRANSCHIED et al., 2007b; N.N., 2012b; KAHLERT, 2013; KÖHLER, 2013). Für Fleischwürste beträgt die Haltbarkeit rund 30 bis 32 Tage (BAUER, 2006; N.N., 2012b; KÖHLER, 2013). Während dieser Zeit sollte es zu keinen signifikanten Fettveränderungen kommen.

Zur Orientierung für die eigenen Arbeiten werden die in der Literatur gelegentlich für gewolfte und/oder gegarte andere Fleisch- und Wurstwaren dargestellten Ergebnisse zur Fettoxidation genauer betrachtet.

Um eine qualitative Fettveränderung nachzuweisen, wird meistens der Anteil an sekundärem Fettoxidationsprodukt Malondialdehyd (MDA) als Leitsubstanz der Thio-

barbitursäure reaktiven Substanzen (TBARS) herangezogen. Es ist bekannt, dass gegarte Erzeugnisse im Verlauf der Kühlung einer oxydativen Fettveränderung unterliegen, so dass gewöhnlich vermehrt Fettoxydationsprodukte entstehen (ROSENBAUER, 2002). Der Gehalt an TBARS gibt somit einen guten Anhaltspunkt über das Ranzigwerden von Produkten (PARDUN, 1976). Die Intensität der Fettoxydation und somit das Ranzigwerden stehen in enger Beziehung zur Lagerdauer (ANDREO et al., 2003), so dass theoretisch ein annähernd exponentieller Anstieg der TBARS-Werte über die Lagerdauer festgestellt werden sollte (ROSENBAUER, 2002).

Durch die Zerkleinerung roher Rohstoffe in einem Fleischwolf werden die Muskelzellen beschädigt, die Partikelgröße sinkt und die Oberfläche nimmt insgesamt zu. Somit entsteht ein wesentlich höherer Oxidationsdruck als bei ganzen Fleischstücken. Infolge dessen sind die durch die zerstörten Zellmembranen freigesetzten Phospholipide verstärkt dem Einfluss von Sauerstoff, Metallionen, Enzymen und Hämoproteinen ausgesetzt. Demzufolge ist mit einem Anstieg der TBARS-Werte zu rechnen, wobei durch den während der Zerkleinerung untergemischten Luftsauerstoff auch das Redoxpotential stark zunimmt. (MACNEIL et al., 1973; LEISTNER, 1986; HALL, 1987; ASGAHR et al., 1988; LADIKOS und LOUGOVOIS, 1990; WIRTH, 1990; GIACCONE et al., 1991; KANNER, 1994; JENSEN et al., 1998; ANDREO et al., 2003; LEAFLET, 2008 und 2011)

Das Kutturieren von Rohstoffen und deren Emulgierung nehmen mindestens einen ebenso großen Einfluss auf die Fettoxydation wie das Wolfen (PEARSON et al., 1997). Bei der Herstellung von Hackfleischmassen oder emulgierten Erzeugnissen, welche anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen wurden, ist bei der Kühl- und Gefrierlagerung in Beuteln mit bzw. ohne Vakuum von einer Zunahme der Fettoxydationsprodukte über die Lagerdauer auszugehen, wie nachfolgende Autoren in ihren Untersuchungen zeigen konnten: NEWBURG und CONCON, 1980; FERNÁNDEZ-ESPLÁ und O'NEILL, 1993; EL-ALIM et al., 1999; AHN et al., 2002; RAJENDRAN et al., 2006; STODOLAK et al., 2007; LEAFLET, 2008 und 2011; DOOGHE, 2013.

CHANNON et al. (2002) stellten fest, dass Lebensmittel aus Schweinefleisch einer stärkeren Fettoxydation unterliegen als jene anderer Tierarten.

2.5 Ableitung von Arbeitsthesen für die eigene Arbeit

Arbeitsthesen:

1. Die einzelnen Zerkleinerungsvorgänge von Fleisch in einem Wolf können durch eine zu entwickelnde Versuchsvorrichtung abgebildet sowie die dabei auftretende Zerkleinerungsarbeit erfasst werden! Die ermittelte Zerkleinerungsarbeit kann mit Hilfe einer zu erarbeitenden mathematischen Methode in zu verrichtende Teilarbeiten für Kompression, Reibung und Zerstörung sowie gegebenenfalls weitere Arbeiten aufgeteilt werden!

2. Anhand der ermittelten Teilarbeiten können in Kombination mit der bewerteten Zerkleinerungsqualität Abhängigkeiten der Fleischzerkleinerung im Wolf von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern herausgestellt werden!
3. Es können verarbeitungsrelevante Anforderungen an einen Zerkleinerungsprozess mit Emulgierung und die eingesetzten Werkzeuge für ein neuartiges prototypisches kontinuierliches Verfahren zur Fleischzerkleinerung einschließlich Emulgierung, basierend auf dem Wolfprinzip, abgeleitet werden!
4. Zerkleinerungsprozesse während der Herstellung von Wurstwaren erhöhen die Oberfläche der zerkleinerten Muskel-, Binde- und Fettgewebe. Je höher die Zerkleinerung ist, desto größer wird die Oberfläche. Infolge dessen müsste es zu einem vermehrten Sauerstoffeinfluss und somit zu einer erhöhten Oxidationsanfälligkeit der Fette kommen, wenn eine stärkere Zerkleinerung vorliegt!
5. Das neuartige kontinuierliche Verfahren gewährleistet die Herstellung einer sensorisch und ernährungsphysiologisch hochwertigen Brät- und Wurstqualität, was in direktem Vergleich mit der herkömmlichen diskontinuierlichen Standardtechnik Kutter bewiesen wird!

3 Material und Methoden

3.1 *Allgemeines Versuchsdesign*

Entsprechend der Zielstellung wurde der Einfluss verschiedener Verarbeitungsparameter während des Wolfens auf die sensorische und ernährungsphysiologische Qualität von feinzerkleinerten Brühwürsten, im speziellen Bockwürste, untersucht.

Dazu wurden 5 Versuchsserien, bestehend aus zwei Serien im Rahmen von Grundlagenversuchen und drei Serien im Rahmen von Technikumsversuchen, durchgeführt.

1. In den Grundlagenversuchen wurde der komplexe und mehrstufige Zerkleinerungsprozess von Fleisch in einem Wolf schrittweise für die jeweiligen Werkzeuge detailliert analysiert.
2. In den Technikumsversuchen wurde das komplexe Zusammenspiel der Werkzeuge in einem mehrstufigen Schneidsatz für die Zerkleinerung von Fleisch einschließlich Emulgierung betrachtet sowie der Einfluss auf die Produktqualität erforscht.

Eine Übersicht über die durchgeführten Versuchsserien, deren Zielstellung und die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge ist in Tabelle 2 (siehe nachfolgende Seite) dargestellt.

Die ersten beiden Versuchsserien umfassten **Grundlagenversuche** im Labormaßstab. In deren Verlauf wurden schrittweise die einzelnen Zerkleinerungsvorgänge von Fleisch in einem Wolf mittels entsprechender Versuchsvorrichtungen beschrieben.

Üblicherweise besteht die Werkzeugtechnik (Schneidsatz) in einem Wolf aus mehreren abwechselnd hintereinander zusammengesetzten Lochscheiben und Messern. Für die Versuche in den Serien des **1. Grundlagenversuchs** wurde eine Vereinfachung des ansonsten sehr komplexen Wolfprozesses realisiert, um einen detaillierteren Blick auf die jeweiligen einzelnen Zerkleinerungsabläufe ermöglichen zu können.

Dazu wurde in einem ersten Schritt in einem vergleichsweise einfachen Versuchsansatz eine einzelne Lochscheibenbohrung als kleinstes Wirkelement betrachtet. Die auftretende Zerkleinerungsarbeit wurde dabei messtechnisch erfasst und mittels einer entwickelten mathematischen Methode in die aus der Literatur beschriebenen Teilarbeiten für Kompression, Reibung und Zerstörung aufgeteilt. In einem zweiten Schritt wurde die Zerkleinerungswirkung an einer Lochscheibe als Gesamtheit aller Bohrungen und Stege untersucht. Mit diesem Versuchsansatz wurde überprüft, wie sich das Zerkleinern an mehreren Bohrungen gleichzeitig auf die messtechnisch erfasste Zerkleinerungsarbeit und den daraus modellierten Teilarbeiten bzw. die Zerkleinerungsqualität auswirkt. Die gemessene Gesamtkraft konnte neben den oben

genannten Teilarbeiten in eine weitere Arbeit zur Verschiebung aufgeteilt werden. In der Literatur ist diese Arbeit bekannt, wurde bisher jedoch nur verbal beschrieben.

Tabelle 2: Übersicht über die durchgeführten Versuchsserien, deren Zielstellung und die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge

Versuchsserie	Zielstellung	Zerkleinerungswerkzeuge
1. Grundlagenversuch	Darstellung der Zerkleinerungsvorgänge von Fleisch	• eine Lochscheibenbohrung (siehe Abbildung 18, Seite 53)
	Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Teilarbeiten	• eine Lochscheibe (siehe Abbildung 20, Seite 56)
2. Grundlagenversuch	Erarbeitung der Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern	• eine Lochscheibenbohrung • eine Lochscheibe
	Erarbeitung der Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern	ein 2-teiliger Schneidsatz (siehe Abbildung 22, Seite 59)
1. Technikumsversuch	Ableitung von Anforderungen an die Werkzeuge (Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe zur Emulgierung)	ein 17-teiliger Feinbräutomat (siehe Abbildung 26, Seite 64)
	Ableitung von verarbeitungsrelevanten Anforderungen (Verhältnis Vorschub zu Messerwelleumdrehzahl)	
2. Technikumsversuch	Untersuchung der Oxidationsstabilität	• ein 17-teiliger Feinbräutomat
3. Technikumsversuch	Verfahrensvergleich bezüglich der sensorischen und ernährungsphysiologischen Qualität	• ein Kutter (siehe Abbildung 28, Seite 69)

Aus der Kombination der jeweiligen Teilarbeiten und der erzielten Zerkleinerungsqualität wurden in den Serien des **2. Grundlagenversuchs** zuerst für eine Lochscheibenbohrung und dann für eine Lochscheibe Abhängigkeiten der Fleischzerkleinerung im Wolf von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern herausgearbeitet. Um die Zerkleinerungsvorgänge in einem realen Wolf zu beschreiben, wurde abschließend in einem komplexeren Versuchsansatz ein 2-teiliger Schneidsatz, bestehend aus einer Lochscheibe und einem Wolfmesser, betrachtet.

Die erzielte Zerkleinerungsleistung wurden zur Bewertung des Wolfprozesses erfasst und deren Abhängigkeit von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern dargestellt.

In den nachfolgenden drei Versuchsserien im Rahmen der **Technikumsversuche** wurden Untersuchungen zur Herstellung von Brühwurst, im speziellen von Bockwurst durchgeführt. Dabei fanden ein in Zusammenarbeit mit drei Unternehmen entwickelter prototypischer Versuchsstand (Feinbräutomat) sowie eine Standardtechnik (Kutter) Einsatz. Das Funktionsprinzip des kontinuierlich arbeitenden Feinbräutomaten basiert auf dem Wolfprinzip. Je nach Verarbeitungsschwerpunkt bestand der darin eingesetzte 17-teilige Schneidsatz aus unterschiedlichen Lochscheiben und Messern. Der diskontinuierlich arbeitende Kutter wurde mit 3 Kuttermessern in Standard-Sichelform betrieben. In den Versuchen wurden der komplexe Gesamtprozess von der Fleischzerkleinerung bis zur Emulgierung und die Auswirkungen auf die Brät- und Wurstqualität untersucht.

In den Serien des **1. Technikumsversuchs** wurden relevante rohstoffseitige sowie verfahrenstechnische Parameter für den Feinbräutomaten erfasst. Für die Erzielung einer guten Brät- und Erzeugnisqualität wurde zum einen ein günstiger Bohrungsdurchmesser für die letzte Lochscheibe der Emulgierung herausgearbeitet. Zum anderen wurde ein günstiges Verhältnis von Rohstoffvorschub zur Messerwellendrehzahl für die Emulgierung abgeleitet. In Kombination mit den verwendeten Werkzeugen wurden die Auswirkungen auf die erzielte Zerkleinerungsqualität untersucht. Es wurden einerseits verarbeitungsrelevante Anforderungen herausgestellt, das heißt die erforderlichen Arbeitsschritte bei der Zerkleinerung und Emulgierung von Fleisch während der Bockwurstherstellung. Andererseits wurden Anforderungen an die stufenweise Zusammenstellung der eingesetzten Werkzeuge, basierend auf einer Verfahrensoptimierung, abgeleitet.

Um das entwickelte neuartige Feinbrätverfahren und dessen Zerkleinerungsqualität zu bewerten, wurde in den Serien des **2. Technikumsversuchs** die Oxidationsstabilität der stark zerkleinerten und emulgierten Bockwürsten auch im Vergleich zu einer herkömmlichen Standardtechnik Kutter untersucht. Darüber sollte eine für die Konsumenten wichtige Einschätzung des Verfahrens bezüglich der Einflussnahme auf die ernährungsphysiologische Qualität vorgenommen werden.

Abschließend wurde der prototypische, kontinuierlich arbeitende Feinbräutomat in den Serien des **3. Technikumsversuchs** der diskontinuierlich arbeitenden Standardtechnik Kutter gegenübergestellt. Ziel war es, die hergestellte sensorische und ernährungsphysiologische Brät- und Wurstqualität zu untersuchen und zu vergleichen.

3.1.1 *Grundlagenversuche – Untersuchte Rohstoffe und verwendete Zerkleinerungstechniken*

Untersucht wurden praxisrelevante Rohstoffe und Rohstoffzustände. Dabei wurden verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt, welche bei der Zerkleinerung mit Wölfen sowie für die zu erzielende Erzeugnisqualität von Bedeutung sind: Tierart, Gewebeart, Faserausrichtung, Verarbeitungstemperatur sowie Vorzerkleinerungsgrad (= Probengröße). Auf der nachfolgenden Seite sind in Tabelle 3 die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge, untersuchten Rohstoffe und verarbeitungstechnischen Parameter im Detail dargestellt.

Die Rohstoffe wurden von einer ortsansässigen Fleischerei erworben. Als Probenmaterial fand ca. 4 Tage gereiftes reines Muskelgewebe aus der Oberschale von Schweinen und Rindern bzw. Muskelgewebe aus der Brust von Puten sowie Fettgewebe aus der Rückenpartie von Schweinen Verwendung. Bei der Probenvorbereitung wurde alles sichtbare anhaftende Fett- und Bindegewebe vom Muskelgewebe bzw. das anhaftende Muskel- und Bindegewebe vom Fettgewebe entfernt.

Es wurden unterschiedliche Verarbeitungstemperaturen der Proben von -4, 0 bzw. 4°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) ausgewählt, da diese gängige Rohstofftemperaturen bei der Zerkleinerung mit Wölfen darstellen, insbesondere bei der Herstellung von Brühwurst. Für die Temperierung auf -4°C wurden die zugeschnittenen Proben im Gefrierschrank bei -20°C in einer Styroporbox mit Deckel bzw. für die Temperierung auf 0 und 4°C in einem temperierbaren Kühlschranks abgedeckt gelagert. Die Temperatur wurde mit einem digitalen Einstich-Thermometer (ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) überprüft. Aufgrund der Probenfestigkeit (Gefahr des Brechens beim Einstechen) wurde für die auf -4°C einzufrierenden Proben vorab eine Temperaturverlaufskurve erstellt, um nachfolgend mit einem Infrarot-Thermometer (826-T3, Firma Testo AG) die Zieltemperatur kontrollieren zu können.

Je nach verwendeten Werkzeugen wurden dabei relevante verarbeitungstechnische Parameter variiert, um den Zerkleinerungsprozess mittels Wolf besser beschreiben zu können. Untersucht wurden Zusammenhänge der rohstoffseitigen Einflussgrößen:

- zur Schneidgeschwindigkeit,
- zum Bohrungsdurchmesser der Lochscheibe sowie
- zum Förderdruck.

Es wurde eine 10-malige Wiederholung jeder Versuchseinstellung vorgenommen.

Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Zerkleinerungswerkzeuge, untersuchten Rohstoffe und verarbeitungstechnischen Parameter im Rahmen der Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs

Versuch	Zerkleinerungswerkzeug	Rohstoffcharakteristik					verarbeitungstechnische Parameter		
		Tierart	Gewebeart	Faserausrichtung	Verarbeitungstemperatur (°C)	Vorzerkleinerungsgrad/ Probengröße (mm)	mittlere Schneidgeschwindigkeit (mm/s)	Bohrungsdurchmesser Lochscheibe (mm)	Förderdruck (bar)
1. Grundlagenversuch	eine Lochscheibenbohrung	Schwein	Muskel	l, q, s	-4, 0, 4	Δ30_L40	2, 20	WBS	ohne
			Fett	keine	-4, 0, 4	Δ30_L40	2, 20	WBS	ohne
		Rind	Muskel	l, q, s	-4, 0, 4	Δ30_L40	2, 20	WBS	ohne
		Pute	Muskel	l, q, s	-4, 0, 4	Δ30_L40	2, 20	WBS	ohne
	eine Lochscheibe	Schwein	Muskel	zufällig	4	□20, □40	20	5, 6, 7, 8, 10, 13	3, 4, 5, 6
		Pute	Muskel	zufällig	4	□20, □40	20	5, 6, 7, 8, 10, 13	3, 4, 5, 6
2. Grundlagenversuch	2-teiliger Schneidsatz	Schwein	Muskel	zufällig	-4, 0, 4	□20	50	3, 6, 7, 8	3, 4, 5, 6
		Pute	Muskel	zufällig	4	□20, ○65_D40	50	3, 4, 5, 6, 7, 8	1, 5, 3, 4, 5, 6

(Abkürzungen: l = längs, q = quer, s = senkrecht, Δ = gleichseitiges Dreieck mit Kantenlänge 30 mm, □ = Würfel, ○ = Zylinder mit Durchmesser 65 mm, L = Länge, D = Dicke, WBS = Warner-Bratzler-Schere)

3.1.1.1 Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für eine Lochscheibenbohrung in den Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs

Zur Bestimmung des Zerkleinerungsverhaltens und zur Ermittlung der Zerkleinerungsarbeit beim Zerkleinern an **einer Lochscheibenbohrung** wurde ein vorhandener Texture Analyser TA.XTPlus (Firma Stable Microsystems) genutzt. Diese Versuchs- und Messtechnik erlaubte über einen integrierten Kraftaufnehmer die Aufzeichnung einer Weg-Kraft-Kurve und deren Auswertung mit der geräteinternen Software Texture Exponent (Version 4.0.12.0, Firma Stable Microsystems). Die Fläche unter der Kraft-Weg-Kurve entspricht dabei der für die Zerkleinerung erforderlichen Gesamtarbeit. Um das Zerkleinern in einer Lochscheibenbohrung nachzuempfinden, wurde als Zerkleinerungswerkzeug eine sogenannte Warner-Bratzler-Schere verwendet, siehe Abbildung 18.

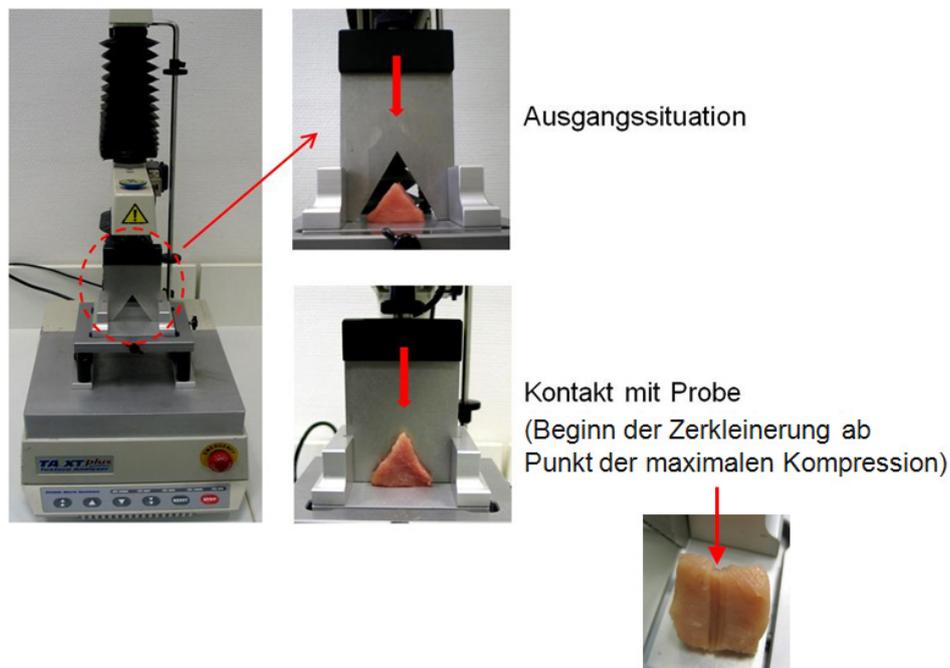


Abbildung 18: Versuchs- und Messvorrichtung mit Warner-Bratzler-Schere zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung)

Das Zerkleinerungswerkzeug wies eine Öffnung in Form eines gleichseitigen Dreiecks anstatt einer runden Öffnung wie in einer Lochscheibenbohrung auf. Dies war jedoch dahingehend unerlässlich, da erstens nur mit der Warner-Bratzler-Schere gewährleistet werden konnte, dass die genau passend der Scherenform zugeschnittene Probe den gesamten Scherbereich ausfüllte. Zweitens konnte nur so die zu zerkleinernde Probe während des Zerkleinerungsvorganges durch die Schere fixiert werden. Wie im Kapitel 2.3 beschrieben, weist rohes unzerkleinertes Fleisch plasto-

elastische Eigenschaften auf. Dies würde bei einer anders gestalteten Scherenform dazu führen, dass das Fleisch unter Krafteinwirkung durch die Schere selbst aus dem Scherbereich herausgeschoben wird. Mit Hilfe der eingesetzten Warner-Bratzler-Schere konnte der Zerkleinerungsprozess in einer Bohrung in einem realen Wolf nachempfunden werden, da auch hier das Fleisch die Bohrung vor Beginn der Zerkleinerung vollständig ausfüllt und dort fixiert wird. Es konnte demzufolge auch davon ausgegangen werden, dass die ermittelte Zerkleinerungsarbeit näherungsweise die Verhältnisse in einer Lochscheibenbohrung eines realen Wolfes abbilden kann. Auch KAMDEM et al. (1995b) bestätigen, dass eine Warner-Bratzler-Schere zur Beschreibung des Wolfprozesses und zur Abschätzung erforderlicher Energien/Arbeiten für das Wolfen herangezogen werden kann, da ähnliche Abläufe bezüglich Kompression, Scherung, Streckung und Reibung wirken.

Zur besseren Positionierung der Probe unter der Warner-Bratzler-Schere wurde der Weg für das Schneidwerkzeug auf 42 mm festgelegt. Die Datenaufzeichnung wurde genau in dem Moment gestoppt, als das Probenstück vollständig durchtrennt war (Voreinstellung der Technik). Der erste Kontakt zwischen Schneidwerkzeug und Probe erfolgte unter den gewählten Bedingungen bei ca. 16 mm (Schneidweg minus Probenhöhe).

Die Schneidgeschwindigkeit, welche der Vorschubgeschwindigkeit der mit dem Kraftaufnehmer verbundenen Warner-Bratzler-Schere entsprach, wurde auf 2 bzw. 20 mm/s festgelegt. Anstatt der Schneidgeschwindigkeit in mm/s wird in der Industrie die Messergeschwindigkeit in Rotation pro Minute (RPM) oder Umdrehung pro Minute (min^{-1}) angegeben, womit ein einfacher Vergleich zu in realen Wölfen verwendeten Geschwindigkeiten etwas schwierig ist.

Die Einteilung von Wölfen in Baugrößen erfolgt nach dem Lochscheibendurchmesser, wobei diese für Standardwölfe bei 70 bis 600 mm liegen. Typische absolute Messerdrehzahlen in Standardwölfen liegen bei 25 bis 100 min^{-1} , bei Hochleistungswölfen bei bis zu 800 min^{-1} . (KAMDEM und HARDY, 1995a; HAACK et al., 2003c und 2007; SCHNÄCKEL und HAACK, 2007b).

In den späteren Technikumsversuchen stand ein neuartiger Feinbräutomat, basierend auf dem Wolfprinzip, in einer mittelgroßen praxistypischen Baugröße mit einem Lochscheibendurchmesser von 130 mm zur Verfügung. Ausgehend von einer dort verwendeten Messerdrehzahl von beispielsweise absolut 30 min^{-1} konnte für diese Baugröße auf eine maximale Messergeschwindigkeit von rund 200 mm/s geschlossen werden. Damit konnte mit der gewählten Vorgehensweise der Zerkleinerung in etwa das 10-tel bzw. 100-stel einer praxistypischen Geschwindigkeit erzielt werden. Die genutzte Geschwindigkeit stellte, vergleichbar einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme, also den Zerkleinerungsprozess extrem verlangsamt, dafür aber sehr detailgenau dar. Nur so konnten die einzelnen Phasen des Zerkleinerungsvorganges in einem Wolf visuell genau verfolgt und zur Charakterisierung der Zerkleinerung von Fleisch herangezogen werden. Diese Visualisierung wurde als unerlässlich angesehen, da zur Bestimmung der wirkenden Einzelarbeiten der jeweilige Zerkleinerungs-

zustand im Detail festgestellt werden musste. Ziel war es, folgende Fragestellungen zu klären:

- Wann beginnt die Kompression der Probe?
- Wann wird das Maximum der Kompression erreicht?
- Wann startet die reine Zerstörung der Probe?
- Wie kann die Entwicklung der Reibung beschrieben werden?
- Treten gegebenenfalls weitere Effekte und Arbeiten auf, die bisher noch nicht berücksichtigt wurden?

Die Klärung dieser offenen Fragen sollte es ermöglichen, eine Methode zur Ausspaltung der Zerkleinerungsarbeit in Einzelarbeiten anhand der aufgezeichneten Kraft-Weg-Kurve zu erarbeiten. Es wurden zudem zwei Geschwindigkeiten untersucht, um die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zerkleinerungsarbeiten darzustellen.

Es wurde Muskelgewebe von Schwein, Rind und Pute untersucht. Das Schneidwerkzeug durchtrennte die Muskelfasern der Probe dabei quer oder schnitt horizontal bzw. vertikal parallel zu den Muskelfasern, siehe Abbildung 19. Schweinerücken-speck weist keine Faserausrichtung auf. Es wurde hierbei aber darauf geachtet, dass jeweils die der Schwarte gegenüberliegende Seite als Basis des Probenstücks verwendet wurde.

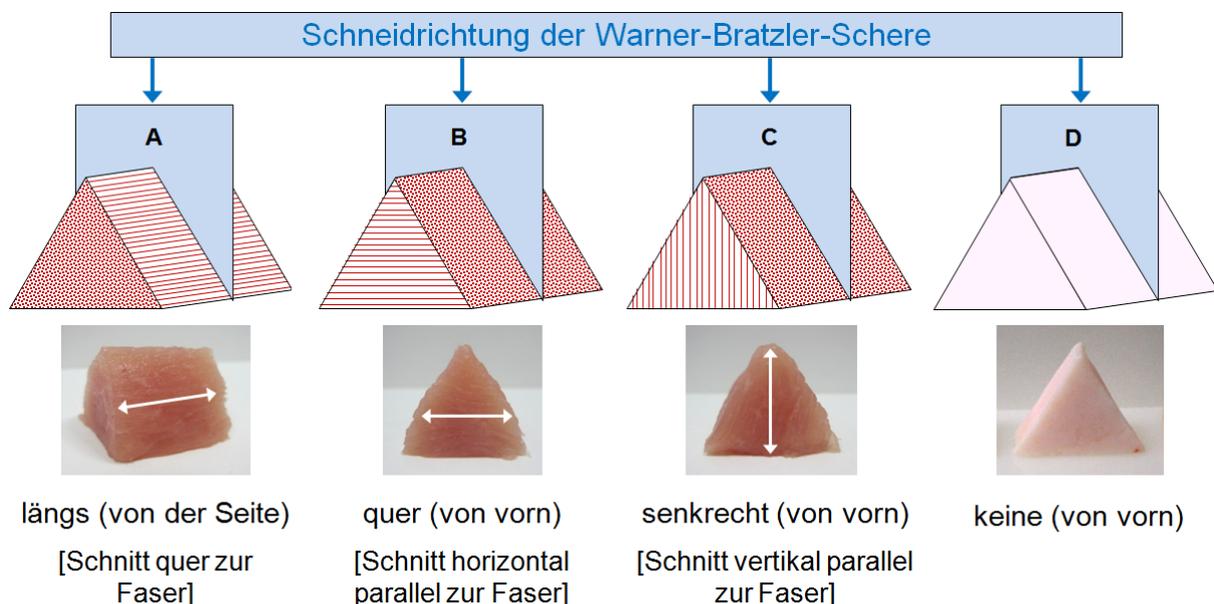


Abbildung 19: Verwendete Faserorientierungen für Muskelgewebe (A-C) sowie für das untersuchte Fettgewebe (D) zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung)

Alle Probenstücke wurden passend zur Scherenform als gleichseitiges Dreieck auf einen Querschnitt mit einer Kantenlänge von 30 mm zugeschnitten. Die theoretisch erzielte Probenhöhe ergab so einheitlich 26 mm. Die Länge der Probenstücke betrug je 40 mm (= $\Delta 30_L40$).

Nach der Probenvorbereitung wurden die Proben auf die Verarbeitungstemperatur von $-4, 0$ bzw. 4°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) herab gekühlt und untersucht.

3.1.1.2 Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für eine Lochscheibe in den Versuchsserien des 1. und 2. Grundlagenversuchs

Um die Zerkleinerungsarbeit beim Zerkleinern mittels **einer Lochscheibe**, das heißt an mehreren Bohrungen gleichzeitig untersuchen zu können war es erforderlich, eine hierfür geeignete Versuchs- und Messvorrichtung zum Teil neu zu entwickeln. Als Basistechnik für den Kraftaufbau sowie die Datenaufnahme konnte ein Texture Analyser TA.HDPlus (Firma Stable Microsystems) verwendet werden. Die neue Versuchsvorrichtung mit der enthaltenen Zerkleinerungstechnik wurde hierin integriert, siehe Abbildung 20.

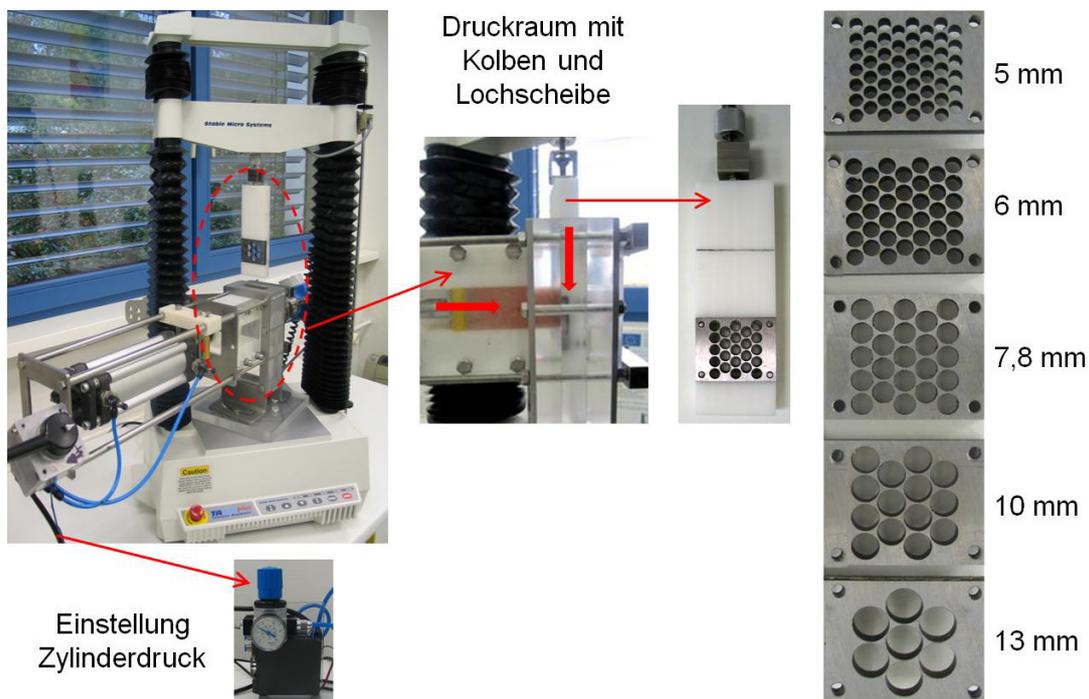


Abbildung 20: Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens an einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

Somit war die Aufzeichnung einer Gesamtarbeit bei der Zerkleinerung von Fleisch gegeben. Die aufgezeichnete Kraft-Weg-Kurve konnte nachfolgend mit der gerätein-

ternen Software Texture Exponent (Version 4.0.12.0, Firma Stable Microsystems) ausgewertet und zur Bestimmung der Einzelarbeiten für die Zerkleinerung herangezogen werden.

Für die Untersuchungen wurde der Rohstoff in einen 15 cm langen Druckraum mit quadratischem Querschnitt von 40 mm eingebracht. Über einen mittels Kompressor (BaseMaster BAM 200-8-25W, Firma Schneider Air Systems, maximal 8 bar) separat erzeugten Druck wurde der Rohstoff mit einem Kolben in die Bohrungen der Lochscheibe gedrückt. Damit sollte die Rohstoffförderung nachempfunden werden. Der aufgebrachte Kolbendruck entsprach dabei dem Druck im Zylinder und damit dem Anpressdruck des Fleisches gegen die Lochscheibe. Untersucht wurden Kolbendrücke von 3, 4,5 und 6 bar, um die Druckabhängigkeit der Zäpfchenbildung herauszustellen. Der erforderliche Kolbendruck wurde über ein Druckluftregelventil (Firma Festo, maximal 10 bar) eingestellt. Die gewählten Drücke sollten zudem gewährleisten, dass die Fleischzäpfchenbildung visuell immer noch gut verfolgbar war, um diesen Vorgang genauer beschreiben und zur Bewertung des Zerkleinerungsprozesses heranziehen zu können. Auch in der Praxis entstehen derartige Druckverhältnisse bei der Zerkleinerung von reinem Muskelfleisch in einem Wolf. Für mageres Schweinefleisch sind neben Drücken von 3 bis 6 bar (HAACK UND SCHNÄCKEL, 2008b) auch Drücke von 6 bis 8 bar (HAACK et al., 2003d) möglich.

Die Lochscheibe bewegte sich erst nach Abschluss des Eindringens des Rohstoffes in die Bohrungen translatorisch gegen eine Scherkante, so dass der Rohstoff in mehreren Bohrungen gleichzeitig zerkleinert wurde.

Um den schrittweisen Ablauf der Zerkleinerung an mehreren Lochscheibenbohrungen besser bewerten zu können, wurde anstatt eines kontinuierlichen Wolfprozesses ein diskontinuierlich arbeitender Versuchsmechanismus gewählt. Nur so konnten die jeweiligen Zerkleinerungsphasen und das Rohstoffverhalten hierbei detailliert ermittelt und der Vorgang sowie die Intensität der Fleischzäpfchenbildung visuell verfolgbar gestaltet werden. Dies sollte, wie auch bei Betrachtung der Zerkleinerung an einer Bohrung, helfen zu klären, wann bestimmte charakteristische Zerkleinerungssituationen erreicht waren und wie sich diese in der entwickelten Methode zur Aufspaltung der Zerkleinerungsarbeit in Einzelarbeiten widerspiegeln. Es musste auch davon ausgegangen werden, dass möglicherweise weitere Arbeiten eine ausschlaggebende Rolle bei der Zerkleinerung an mehreren Lochscheibenbohrungen spielten, welche bisher noch unberücksichtigt waren. Diese Arbeiten und Effekte mussten identifiziert sowie mathematisch beschrieben werden und ergänzend in die Methode zur Beschreibung der Arbeitsverhältnisse in einem Wolf einfließen. Grundsätzlich konnte also davon ausgegangen werden, dass, wie in einem Wolf, der Rohstoff in der neu entwickelten Versuchstechnik unter Druck steht und in mehreren Bohrungen zugleich zerkleinert wird. Von einer Vergleichbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse mit dem Wolfprozess war somit auszugehen.

Die Vorschubgeschwindigkeit der mit dem Kraftaufnehmer verbundenen Lochscheibe wurde auf eine vergleichsweise geringe Geschwindigkeit von 20 mm/s festgelegt. Für die Versuche erfolgte eine Variation der Bohrungsdurchmesser in der Lochscheibe von 5, 6, 7, 8, 10 auf 13 mm. Dies sind gängige Größen bei der Verwolfung von Fleisch bei den eingesetzten Vorzerkleinerungsintensitäten. Die Lochscheibendicke betrug 8 mm.

Für die Versuche wurde Schweine- sowie Putenmuskel verwendet. Es wurden würfelähnliche Proben zufällig aus dem Fleischrohstoff auf eine Kantenlänge von ca. 20 bzw. 40 mm zugeschnitten, siehe Abbildung 21A und 21B. Damit lag keine gezielte Faserausrichtung vor, wie es in der Praxis auch der Fall ist.

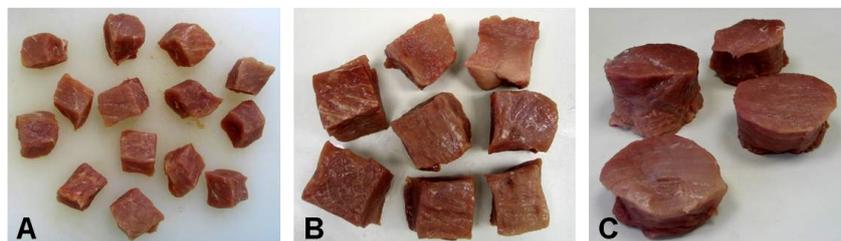


Abbildung 21: Verwendete Muskelgewebe zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens an einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

(A: Würfel á 20 mm = □20, B: Würfel á 40 mm = □40, C: Zylinder mit Durchmesser 65 mm und Länge 40 mm = ○65_D40)

Die Untersuchungen des Muskelgewebes von Schwein und Pute fanden bei einer Temperatur von jeweils 4°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) statt.

3.1.1.3 Versuchsbedingungen im Rahmen der Untersuchungen für einen 2-teiligen Schneidsatz in den Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs

Für die Durchführung der Versuche wurde eine neue, diskontinuierlich arbeitende Versuchsanlage mit einem **2-teiligen Schneidsatz** entwickelt, welche in eine vorhandene Basistechnik (Texture Analyser TA.HDPlus, Firma Stable Microsystems) integriert wurde, siehe Abbildung 22.

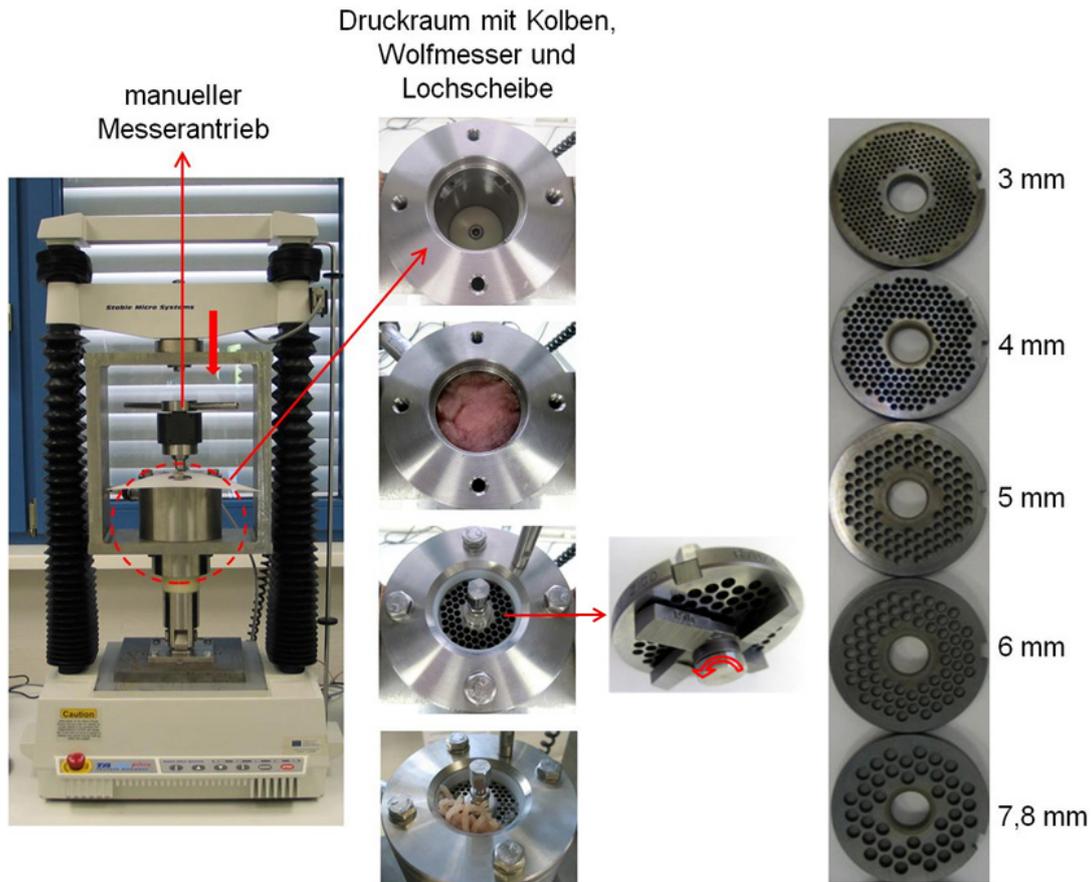


Abbildung 22: Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens mit einem 2-teiligen Schneidsatz (eigene Darstellung)

Der Texture Analyser wurde verwendet, um über dessen Kraftarm die separate Druckerzeugung in dem Versuchssystem aufzubauen. Es wurden so viele Proben in den 15 cm langen Druckzylinder (= Druckraum) mit einem Durchmesser von 65 mm eingebracht, bis dieser vollständig gefüllt war. Mittels eines Kolbens wurde der Rohstoff dann vorbei an dem vorerst unbewegten Messer in die Bohrungen der Lochscheibe gepresst. Der erzeugte Druck entsprach dabei dem Anfangsdruck im Rohstoff. Dieser wurde über den Drucksensor PR-35X (mit Piezo-Kristall, bis 30 bar, Firma Keller) online erfasst und auf einem PC synchron als Druck-Zeit-Kurve mit der integrierten Software ControlCenterSeries30 (Firma Keller) ausgegeben. Die Kurve diente als Hilfsmittel zur Einstellung des Anfangsdrucks. Untersucht wurden Rohstoffdrücke von 1,5, 3, 4,5 und 6 bar. Wenn der gewünschte Druck erzielt war, wurde die Druckausübung, das heißt die Kolbenbewegung eingestellt. Um den in den Lochscheibenbohrungen stattfindenden Druckausgleich im Rohstoff besser visuell verfolgen zu können, wurde eine Druckausgleichszeit von 10 Sekunden (am PC aus der Kurve abgelesen) gewählt. Erst danach wurde das Flügelmesser manuell mittels einer Drehvorrichtung innerhalb von etwa 1 Sekunde (durch PC kontrolliert) um ca. 90° gedreht (Kontrolle über angebrachten Winkel und PC), wobei es einen rotatorischen

Scherschnitt vollzog. Dies bedeutete, dass die einzelnen 4 Flügel des Messers insgesamt ein Abschneiden um ca. 360° vollführten, so dass alle Zäpfchen in den Bohrungen abgeschert wurden. Aufgrund der manuellen Messerbewegung und der damit verbundenen menschlichen Reaktionsträgheit konnte nicht immer ein exaktes Stoppen der Messerdrehung bei 90° gewährleistet werden. Daher war eine Abweichung des Drehwinkels von maximal plus 3° zulässig.

In einem realen Wolfprozess erfolgt der Rohstofftransport gegen die Lochscheibe kontinuierlich vorbei an einem rotierenden Messer. Eine stetige Messerrotation hätte indes zur Folge gehabt, dass die Art und Weise, wie sich der Druckaufbau im Rohstoff vollzieht und wie die Fleischzäpfchenbildung erfolgt, visuell nicht mit der geforderten Detailliertheit hätte wahrgenommen werden können. Ferner wäre die Einstellung konstanter Versuchsbedingungen wie vergleichbare Rohstoffdrücke deutlich erschwert worden. Dessen ungeachtet konnte davon ausgegangen werden, dass ein realer Wolfprozess mit der Versuchsmethodik vergleichsweise gut nachempfunden wurde. Auch in der Versuchstechnik verblieb der Rohstoff nach dem Einpressen in den Lochscheibenbohrungen, bevor er durch die Flügel des rotierenden Messers abgeschert wurde. Somit stellte die ausgewählte Versuchssituation eine Momentaufnahme eines Wolfprozesses dar. Die verwendeten Drücke sowie die Diskontinuität des Prozesses wurden aus den schon beschriebenen Gründen ausgewählt.

Die maximale Schneidgeschwindigkeit des rotierenden Messers betrug 50 mm/s und wurde berechnet aus der Division des maximalen Lochscheibenumfangs (204 mm bei einem Lochscheibendurchmesser von 65 mm) durch die für eine vollständige Messerumdrehung von 360° benötigte Zeit (4 s , da durchschnittlich 1 Sekunde für 90°). Für die untersuchte Lochscheibengröße ergab sich somit eine Messerdrehzahl von absolut etwa 15 min^{-1} . Diese Geschwindigkeit lag zwar unterhalb typischer Drehzahlen, ermöglichte aber eine visuelle Verfolgung des Rohstoffverhaltens während des Abschneidens in den Bohrungen. In den späteren Technikumsversuchen wurde zu Versuchszwecken unter anderem auch mit 18 min^{-1} gewolft.

Bei den Versuchen wurden Lochscheiben mit einer Dicke von 8 mm mit industrietypischen Bohrungsdurchmessern von $3, 4, 5, 6$ und $7,8 \text{ mm}$ untersucht. So sollte eine bessere Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse gewährleistet werden. Die Größe der im Laborversuch eingesetzten Lochscheiben wies den halben Durchmesser der in den Technikumsversuchen verwendeten Lochscheiben in der 130-er Baugröße (entspricht einem Lochscheibendurchmesser von 130 mm) auf. Damit entsprach die in den Technikumsversuchen angeströmte Gesamtlochscheibenfläche (13.273 mm^2) in etwa der 4-fachen Fläche wie in den Laborversuchen (3.318 mm^2).

Als Rohstoff fand Muskelfleisch vom Schwein und der Pute Einsatz. Untersucht wurden würfelähnliche Probengrößen mit einer Kantenlänge von 20 mm , vergleiche dazu Abbildung 21A. Um die Zäpfchenbildung besser zu verstehen, wurde auch Pro-

benmaterial untersucht, welches ein ungünstiges Verhältnis von Bohrungsdurchmesser zur Probengröße aufwies. So wurde Rohstoff in zylinderförmige Stücke mit einem Durchmesser von rund 65 mm (entspricht dem Durchmesser des Druckkolbens sowie der Lochscheibe) und einer Höhe von ca. 40 mm zugeschnitten, siehe Abbildung 21C. Da die Faserorientierung in der Praxis keine Beachtung findet, wurden alle verwendeten Probengrößen ohne Einhaltung einer Faserausrichtung aus dem Muskelgewebe herausgeschnitten und in den Druckzylinder eingebracht.

Das untersuchte Schweinefleisch hatte eine Verarbeitungstemperatur von $-4,0$ bzw. 4°C ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) und jenes von Putenfleisch wies 4°C ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) auf.

3.1.2 *Versuchsserien der Technikumsversuche – Untersuchte Rohstoffe und verwendete Zerkleinerungstechniken am Beispiel der Herstellung von Bockwurst*

Die in Anlehnung an das GEHA-Praxishandbuch (BUCKENHÜSKES et al., 2001) auf die GEHA-Klassen standardisierten Fleisch- und Fettrohstoffe vom Schwein, siehe Abbildung 23, wurden von einem ortsansässigen mittelständischen Fleischverarbeiter tagesweise bezogen und auf 4°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) gekühlt. Zum Einsatz kamen Muskelfleisch (Klasse S II, sehnenfrei, $< 5\%$ sichtbares Fett, Leitsatzkennziffer 1.122), Wamme (Klasse S IV, sehnenfrei, $< 25\%$ sichtbares Fett, Leitsatzkennziffer 1.123) und Fettbacke (Klasse S VI, Leitsatzkennziffer 1.123).



Abbildung 23: Verwendete Fleisch- und Fettrohstoffe (von links: S II, S VI und S IV) in den Serien der Technikumsversuche zur Herstellung von Bockwurst (eigene Darstellung)

Die Bockwurstrezeptur für die einzelnen Versuchsserien wurde nach der im GEHA-Praxishandbuch angegebenen Rezepturkalkulation (BUCKENHÜSKES et al., 2001) unter Beachtung der wertbestimmenden durchschnittlichen chemisch-analytischen Kenngrößen (BEFFE, FE = Fleischeiweiß, Fett, Wasser) zusammengestellt. Eine Versuchserie umfasste eine tagesweise Zusammenstellung laut Grundrezeptur, wobei aus einer Serie jeweils 10 kg-Chargen für Einzelversuche entnommen wurden. Bei der Rezepturzusammenstellung musste zudem darauf geachtet werden, dass die in den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse vorgegebenen BEFFE-

Grenzwerte im Endprodukt Bockwürste (N.N., 2010c) eingehalten wurden, das heißt ein BEFFE von größer als 8 % und ein BEFFE im FE von über 80 %. Die über diese Rezepturkalkulation rein rechnerisch ermittelten Anteile an Wasser, Fett, FE und BEFFE, siehe Abbildung 24, dienen zur Orientierung, ob die hergestellten Erzeugnisse den rechtlichen Anforderungen entsprachen und wie die ernährungsphysiologische Wertigkeit der hergestellten Erzeugnisse zu bewerten war. Diese rechnerische Herangehensweise ist in der Praxis weit verbreitet und die Ergebnisse sind durch die GEHA-Standardisierung vergleichsweise gut reproduzierbar.

Rohstoffe kg	verwendete Rohstoffe	Rohstoffe %	Wasser		Fett		FE		BEFFE		
			%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	
4,50	Schweinefleisch S II	45,0	73	3,29	8	0,36	19	0,86	17,50	0,79	
2,30	Schweinewamme S IV	23,0	55	1,27	30	0,69	14	0,32	12,75	0,29	
3,20	Schweinefettbacke S VI	32,0	40	1,28	50	1,60	10	0,32	7,00	0,22	
10,00	Summe Grundbrät	100,0									
1,20	Eis *	12,0	100	1,20							
0,80	Wasser *	8,0	100	0,80							
0,20	NPS	2,0									
0,03	KHM (Diphosphat E450 + Ascorbinsäure E300)	0,3									
0,06	Bockwurstfertiggewürz	0,6									
12,29	Gesamtgewicht			63,71	7,83	21,56	2,65	12,18	1,50	10,62	1,30
										BEFFE im	
										FE %	
										87,16	

* 20 % Eis und 0 % Wasser bei Verwendung des Kutters

Abbildung 24: Grundrezeptur für eine 10 kg-Charge und Berechnung der Wasser-, Fett-, FE- und BEFFE-Kennwerte nach GEHA in den Serien der Technikumsversuche zur Herstellung von Bockwurst (in Anlehnung an BUCKENHÜSKES et al., 2001)

In der nachfolgenden Abbildung 25 ist schematisch die technologische Verfahrensführung zur Erzeugung von Brühwurstbrät und dessen weiterer Verarbeitung zum Endprodukt Bockwurst dargestellt.

Das Brät wurde nach dessen Herstellung in der Zerkleinerungstechnik mit einer Vakuumfüllmaschine (Firma Keller Handtmann, VF 608) in Bockwurstdärme Kaliber 30 bis 32 mm abgefüllt. Anschließend wurden die Würste in einer Räucher- und Brühanlage (Steuerung Titan mit Allround System Rondette, Firma Maurer-Atmos) mit einem gängigen „Bockwurstprogramm“ (Räuchern bei 55°C, Brühen bei 80°C) fertig gestellt. Aus dem Brät entstand durch die Koagulation des wasserreichen Proteingels eine verzehrfertige Bockwurst. Anschließend wurden die Bockwürste schrittweise mit kälter werdendem Wasser gekühlt und bei 4°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) in einer Kühlzelle mit Umluft bis zu den nachfolgenden chemisch-physikalischen, ernährungsphysiologischen und sensorischen Untersuchungen gelagert. Die Kontrolle der Temperaturen der Rohstoffe, des Brätes und der Erzeugnisse zu den jeweiligen Prozessschritten erfolgte mittels eines digitalen Einstich-Thermometers (ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic).

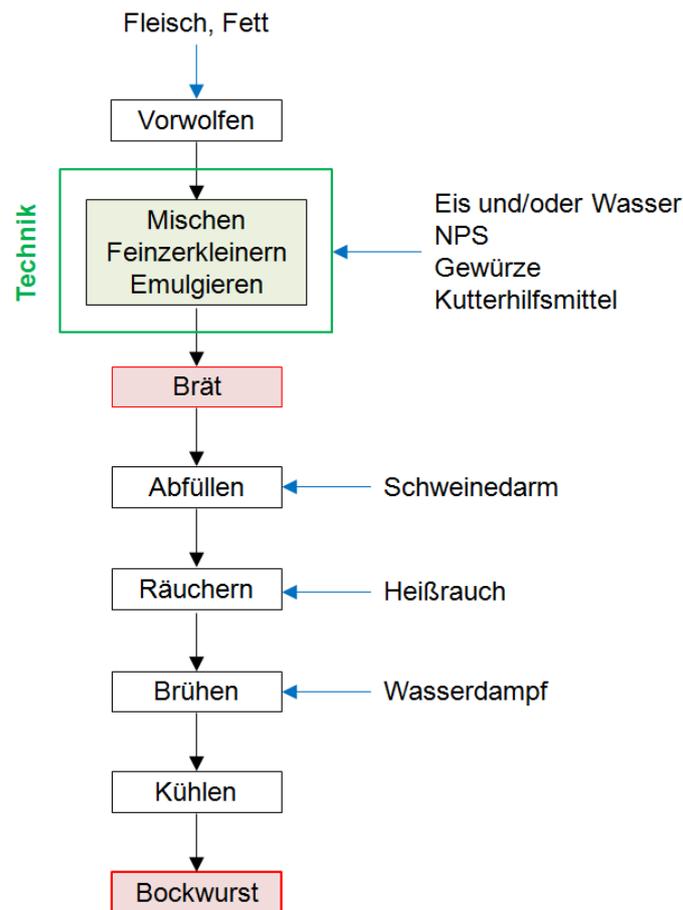


Abbildung 25: Prinzipielles Ablaufschema der Brät- und Bockwurstherstellung (eigene Darstellung)

3.1.2.1 Versuchsbedingungen im Rahmen der drei Versuchsserien der Technikumsversuche mit dem neuartigen Feinbrätautomaten

Die Serien der Technikumsversuche wurden mit einem gemeinsam mit den Firmen MADO GmbH (Dornhan/Schwarzwald), Power Tools GmbH (Halle/Saale) und Inofex GmbH (Halle/Saale) entwickelten prototypischen, kontinuierlich arbeitenden Verarbeitungssystem durchgeführt. Diese 17-teilige Technik arbeitet nach dem Wolfprinzip und wird nachfolgend als **Feinbrätautomat** bezeichnet, siehe Abbildung 26. Der Feinbrätautomat wies eine praxisübliche Maschinengröße von 130 mm Lochscheibendurchmesser auf.

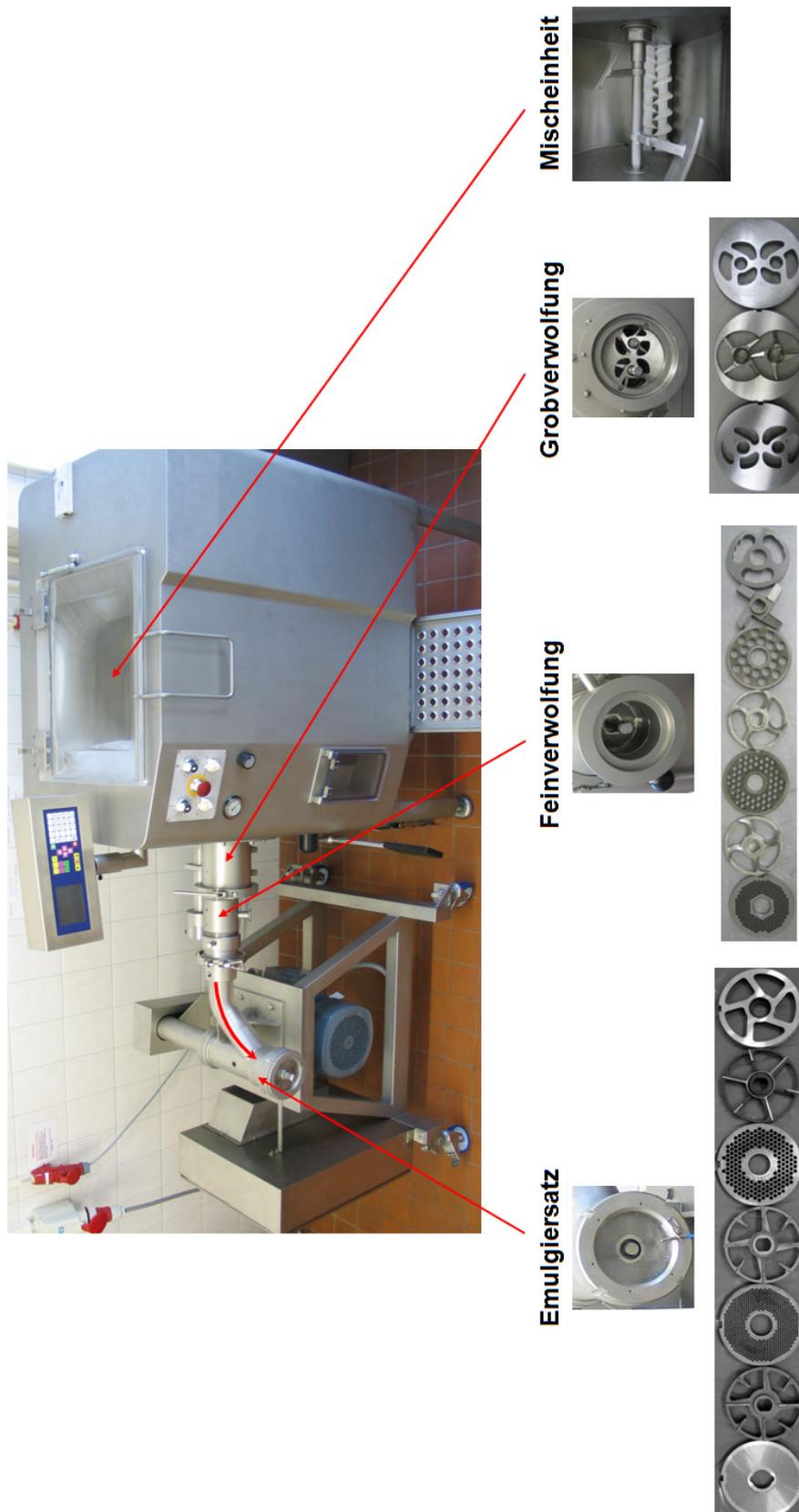


Abbildung 26: Versuchs- und Messvorrichtung zur Ermittlung des Zerkleinerungsverhaltens mit dem 17-teiligen Feinbräutomaten (mit beispielhaften Werkzeugen, (eigene Darstellung))

Der Feinbräutomat bestand aus 4 aufeinander folgenden Verarbeitungseinheiten mit integrierten Basiswerkzeugen.

1. **Mischeinheit:** Mischbehälter mit Doppelschnecke (mit variabler Schnecken-drehzahl*) und Mischpaddeln (mit variabler Mischgeschwindigkeit).
2. **Grobverwolfung:** 3-teiliger Zwillingsschneidsatz (2 Zwillingsslochscheiben mit Lochscheibendurchmesser 130 mm und Scheibendicke 20 mm sowie 1 Zwillingssflügelmesser mit variabler Messerwellendrehzahl*).
3. **Feinverwolfung:** 7-teiliger Wolfschneidsatz mit variabler Werkzeugkombination (1 Vorschneider und 3 Lochscheiben mit Durchmesser je 98 mm und Scheibendicke je 9 mm sowie mit 3 Messern mit variabler Messerwellendrehzahl*).
4. **Emulgiersatz:** 7-teiliger Emulgierschneidsatz mit variabler Werkzeugkombination (1 Vorschneider und 3 Lochscheiben mit Durchmesser je 130 mm und Scheibendicke je 12 mm sowie mit 3 Messern mit variabler Messerwellendrehzahl**).

Theoretisch wird für jeden für die Herstellung von Brühwurstbrät erforderlichen Arbeitsschritt eine bestimmte Prozesszeit benötigt.

In der Standardtechnik Kutter finden die Arbeitsschritte Mischen, Feinzerkleinern und Emulgieren gleichzeitig in der Kutterschüssel statt, vergleiche Abbildung 28 auf Seite 69.

Die Arbeitsschritte in einem kontinuierlich arbeitenden Wolf laufen hingegen nacheinander und räumlich voneinander getrennt in verschiedenen Schneidebenen ab. Dies ist insofern positiv, da unbedingt erforderlich, weil man die zeitlichen Abläufe der Zerkleinerung und Emulgierung bei einer Verarbeitung nach dem Wolfprinzip trennen muss.

Nur eine gewisse Verweilzeit ermöglicht den notwendigen Eintrag von Reibarbeit in das feinstzerkleinerte Brät und damit eine ausreichende Emulgierung, wie SCHNÄCKEL et al. (2012b) nachweisen konnten.

* Die Drehzahl der Arbeitsschnecke in der Mischeinheit entsprach der Messerwellendrehzahl in der Grob- und Feinverwolfung, da alle Messer von einem Motor angetrieben wurden. Die Messer waren dazu auf einer auf der Schneckenwelle aufgesteckten Messerwelle angebracht. In einem Wolf haben Messer und Arbeitsschnecke üblicherweise die gleiche Drehzahl.

** Die Messerwelle und somit die darauf angebrachten Werkzeuge im Emulgiersatz wurden über einen separaten Motor angetrieben.

Dadurch ergaben sich 3 Hauptforderungen, welche durch die neuartige Verfahrensführung im Feinbräutomaten erfüllt werden mussten.

1. Forderung: Gewährleistung einer ausreichenden Durchmischung aller Komponenten!

Für das Durchmischen bedeutet dies, dass zuerst eine gleichmäßige Verteilung aller Rohstoffkomponenten erfolgen muss. Zudem sollen die zugesetzten Salze in Lösung gehen und Wasser soll beginnen, sich locker an das Muskeleiweiß anzulagern. Es ist davon auszugehen, dass die Verwendung von vorzerkleinertem Ausgangsmaterial und von Eiswasser anstatt Eis diesen Prozess begünstigen.

2. Forderung: Gewährleistung einer ausreichenden Vorzerkleinerung der Fleisch-, Fett- und Bindegewebsbestandteile mit Aufschluss des Muskeleiweißes!

Für die Vorzerkleinerung der Komponenten muss aufgrund der Erkenntnisse aus den Grundlagenversuchen die Werkzeugtechnik so gewählt werden, dass die Reibung minimiert und die Zerkleinerungsleistung maximiert wird. Nur so kann davon ausgegangen werden, dass ein guter Eiweißaufschluss und eine weitere Wasseranlagerung an das Muskeleiweiß ermöglicht wird.

3. Forderung: Optimale Brätemulgierung und -suspendierung durch Anlagerung von Wasser und Fett an die Eiweißmatrix!

Während der Brätherstellung müssen die Werkzeuge und Verfahrensparameter so gestaltet werden, dass neben einer Feinstzerkleinerung vor allem Reibung gezielt ins Brät eingebracht werden kann. Dabei müssen Eiweißdenaturierungen ausgeschlossen werden, um eine Qualitätsminderung, vergleichbar einem Überküttern, zu verhindern.

Die integrierte Mischeinheit erlaubte die homogene Mischung aller benötigten Komponenten laut der 1. Forderung. Anhand der Ergebnisse der Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs wurde die Vorzerkleinerungsintensität der Rohstoffe zur Gewährleistung einer guten Weiterverarbeitung in der nachfolgenden Grob- und Feinverworfung auf rund 13 mm festgelegt.

Mit Hilfe der 3-teiligen Grobverworfung sowie der darauf folgenden 7-teiligen Feinverworfung konnte der 2. Forderung nach einer ausreichenden Vorzerkleinerung der Fleischrohstoffe bei gleichzeitigem Aufschluss des Muskeleiweißes Rechnung getragen werden. Durch die Erkenntnisse aus den Grundlagenversuchen konnte eine sinnvolle Anordnung der aufeinander folgenden Lochscheiben und Messer vorgenommen werden. Dazu wurde der Bohrungsdurchmesser der letzten Lochscheibe zuerst für eine 5-teilige Feinverworfung auf 7,8 mm festgelegt. Im Folgenden fand eine 7-teilige Feinverworfung Anwendung, wobei der Bohrungsdurchmesser der letzten Lochscheibe auf 3 mm festgelegt wurde. Ein geringer Endbohrungsdurchmesser

sollte theoretisch eine für die sich anschließende Verarbeitung im Emulgiersatz besser geeignete Brätqualität zur Verfügung stellen.

Die 3. Forderung nach einer optimalen Brät emulgierung und Suspendierung der Brätbestandteile konnte umgesetzt werden, indem ein 7-teiliger Emulgiersatz als letzter Verarbeitungsschritt zum Tragen kam. Für die Herstellung einer guten Brät- und Bockwurstqualität war hierbei zu untersuchen, welcher Bohrungsdurchmesser vor allem in der letzten Lochscheibe des Emulgiersatz am geeignetsten war.

Darauf aufbauend sollte erarbeitet werden, ob es eine mathematische Abhängigkeit von der Messerwellendrehzahl bei der Emulgierung zu einem entsprechenden Rohstoffvorschub in der Grob- und Feinverwolfung gibt. Wenn ja, sollte ein für die Erzeugnisqualität optimales Verhältnis von Vorschub zu MWDZ herausgestellt werden. Auf dieser Grundlage soll zukünftig eine automatische Steuerung für eine kontinuierliche und kontrollierbare Verfahrensführung für die Bockwurstherstellung etabliert werden.

In Abbildung 27 ist schematisch die technologische Verfahrensführung zur Erzeugung von Brühwurstbrät mit dem Feinbrätautomaten dargestellt.

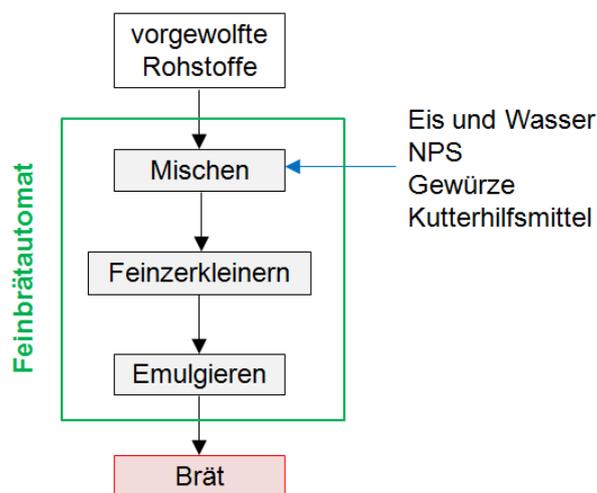


Abbildung 27: Ablaufschema der Bräterstellung mit dem Feinbrätautomaten in den Versuchsserien der Technikumsversuche (eigene Darstellung)

Am Tag vor der Verarbeitung wurden die Rohstoffe grob auf 13 mm vorgewolft und anschließend auf 4°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) gekühlt. Am Produktionstag erfolgte die Eingabe aller Rohstoffe (10 kg pro Charge) in die Mischeinheit. Darin wurden alle Komponenten über 180 Sekunden durchmischt. Im Anschluss erfolgten die Grob- bzw. Feinverwolfung sowie die Emulgierung bei den in der Tabelle 4 dargestellten spezifischen Versuchsbedingungen.

Tabelle 4: Übersicht über die Versuchsbedingungen in den Versuchsserien der Technikumsversuche zur Herstellung von Wurstbrät und Bockwurst mit dem Feinbräutomaten

Versuch		Feinverwolfung			Emulgiersatz		
		eingesetzte Lochscheiben* (mm)	End-Lochscheibe* (mm)	Vorschub und Messerwellendrehzahl (min ⁻¹)	eingesetzte Lochscheiben* (mm)	End-Lochscheibe* (mm)	Messerwellendrehzahl (min ⁻¹)
1. Technikumsversuch	End-Lochscheibe Emulgiersatz	V - 13	7,8	33	6 - 2	0,8	130, 480
					6 - 3	1,5	1060, 1370, 1660, 1950, 2290
					6	2	480, 730, 1010
					6	3	480, 730, 1010, 1330
	Verhältnis Vorschub zu MWDZ	V - 13 - 7,8	3	24	13 - 6 - 2	1,5	1010
				30	13 - 6 - 2	1,5	900, 1500
				40	13 - 6 - 2	1,5	1010, 1200, 1230, 1330, 1670
				50	13 - 6 - 2	1,5	900, 1500
				55	13 - 6 - 2	1,5	1010, 1500
				80	13 - 6 - 2	1,5	1010
2. Technikumsversuch	Oxidationsstabilität	V - 13 - 7,8	3	30	13 - 6 - 2	1,5	1500
				40	13 - 6 - 2	1,5	1200
				50	13 - 6 - 2	1,5	900
3. Technikumsversuch	Technikvergleich	V - 13 - 7,8	3	30	13 - 6 - 2	1,5	1500
				40	13 - 6 - 2	1,5	1200
				50	13 - 6 - 2	1,5	900

(Abkürzungen: V = 5-stufiger Vorschneider, MWDZ = Messerwellendrehzahl, * entspricht dem Bohrungsdurchmesser der Lochscheibe)

Die Messerwellendrehzahl wurde mittels eines entwickelten Steuerungsprogrammes am PC eingestellt und an die beiden Maschinenantriebe separat weitergeleitet. Dabei wurde der Antrieb der Messer im Emulgiersatz getrennt von dem für die Mischeinheit sowie Grob- und Feinverwolfung einheitlichen Antrieb angesteuert.

Während der Bockwurstherstellung wurden mittels Sensoren die technologisch relevanten Kenngrößen Temperatur und Druck online erfasst und synchron auf einem PC aufgezeichnet, um sie nachfolgend auszuwerten.

Das hergestellte Brät wurde dann nach den in der Abbildung 25 dargestellten Verfahrensschritten weiter bis zum Endprodukt Bockwurst verarbeitet.

3.1.2.2 Versuchsbedingungen mit einem herkömmlichen Kutter im Rahmen der Versuchsserien des 2. und 3. Technikumsversuchs

Die Technikumsversuche erstreckten sich auch auf Versuchsserien an einem diskontinuierlich arbeitenden Laborkutter (FGC 10-2, Firma Feuma). Dieser hatte ein Fassungsvermögen von 5 Litern und enthielt 3 Kuttersichelmesser, siehe Abbildung 28. Dieser wurde als Standardtechnik zur Brühwurstherstellung dem neu entwickelten prototypischen Feinbrätautomaten im Vergleich gegenüber gestellt.



Abbildung 28: Verwendete Standardtechnik Kutter für den Technikvergleich (eigene Darstellung)

Zur Herstellung von Brühwurstbrät stehen verschiedene Kutterverfahren zur Auswahl (HEISS, 1991; BELITZ, 1992; BRANSCHIED et al., 1998; JAKOB, 2005b).

- Das Magerfleisch wird beim **Trockenkuttern** vor der Zugabe von Wasser oder Eis zerkleinert. Dadurch wird ein höherer Zerkleinerungsgrad erreicht. Vor allem bei gefrorenem Material findet dieses Verfahren Anwendung. Nachteilig wirkt sich die schnelle Erwärmung des Magerbrätes aus, da ohne Zusatz von Eis zerkleinert wird.
- Beim **Magerbrätverfahren** wird das vorgewolfte Magerfleisch mit dem Zusatz von Wasser bzw. Eis angekuttert. Die Eiszugabe erfolgt schrittweise, wobei

die Brättemperatur 3°C nicht überschreiten sollte. Anschließend werden das vorgewolfte Fettgewebe und die weiteren Zusatzstoffe (NPS, Gewürze, Kutterhilfsmittel) zugegeben und weiter gekuttert. Das Fertigbrät soll eine Temperatur von 12 bis 15°C nicht überschreiten, wenn ohne Phosphat als Kutterhilfsmittel gearbeitet wird.

- Alle Rezepturbestandteile wie Magerfleisch, Fettgewebe, Eis und Zusatzstoffe werden bei einem **Gesamtbrätverfahren** zeitgleich gekuttert.
- Beim **Fettbrätverfahren** wird das Magerfleisch mit dem Eis und den Zusatzstoffen gekuttert. Anschließend erfolgt die Entnahme des Magerbrätes aus dem Kutter. Danach wird das Fettgewebe getrennt zerkleinert und das hergestellte Magerbrät wird in dieses Fettbrät durch weiteres Kuttern untergearbeitet.

Für die Brätherstellung im Kutter wurde das Magerbrätverfahren ausgewählt, da die Muskelfasern hierbei besser für die nachfolgende Wasser- und Fettanbindung aufgeschlossen werden.

Am Tag vor der Verarbeitung wurden die Rohstoffe auf 3 mm vorgewolft und anschließend auf 4°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) gekühlt. Dementsprechend wurden am Produktionstag die gewolften Fleischrohstoffe und 30% der Eisschüttung für 30 Sekunden mit einer Messerwellendrehzahl von 1800 min^{-1} bei einer Schüsseldrehzahl von 7 min^{-1} angekuttert. Danach erfolgte die Zugabe der Fettrohstoffe, des restlichen Eises und der anderen Zutaten. Die Messerwellendrehzahl wurde auf 2500 min^{-1} bei einer Schüsseldrehzahl von 14 min^{-1} erhöht. Bedingt durch den Einsatz von Citrat im KHM wurde der Kutterprozess nach Erreichen einer Brättemperatur von 12°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) beendet.

In Abbildung 29 ist schematisch die technologische Verfahrensführung zur Erzeugung von Brühwurstbrät mit einem Kutter dargestellt.

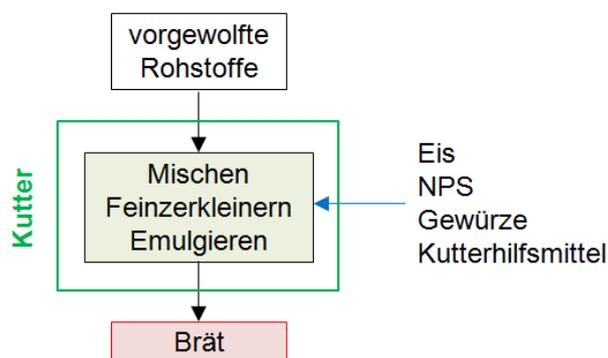


Abbildung 29: Ablaufschema der Brätherstellung mit der Standardtechnik Kutter (eigene Darstellung)

Das hergestellte Brät wurde nach den in Abbildung 25 dargestellten Verfahrensschritten weiter bis zum Endprodukt Bockwurst verarbeitet.

3.2 **Verwendete Untersuchungsmethoden**

3.2.1 *Ermittlung der Teilarbeiten für die Zerkleinerung an einer Lochscheidenbohrung sowie mittels einer Lochscheibe im Rahmen der Versuchsserien des 1. Grundlagenversuchs*

Um die erforderlichen Arbeiten bestimmen zu können war es notwendig, die Fläche unter der Zerkleinerungskurve zu berechnen. Als Hilfsmittel wurde dabei auf die Integralrechnung zurückgegriffen.

Die Integration ermöglicht eine Berechnung von Flächeninhalten in begrenzten Intervallen unter einer krummlinigen Kurve und der x-Achse oder zwischen zwei krummlinigen Kurven. Der Funktion in einem bestimmten Integral wird ein Zahlenwert zugeordnet. Das Ergebnis kann in einem x-y-Koordinatensystem als Flächeninhalt dargestellt werden. Das Integral \int der Fläche A wird dabei begrenzt von: dem Graphen einer Funktion mit dem Integrand $f(x)$, wobei x die Integrationsvariable darstellt, zwei vertikalen Geraden, den sogenannten Integrationsgrenzen (variabel benennbar, zum Beispiel „a“ und „b“) sowie der x-Achse, siehe Abbildung 30.

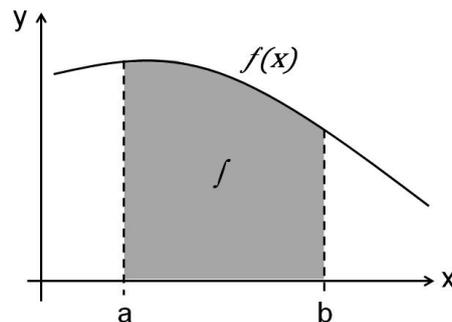


Abbildung 30: Beispiel für ein Integral als Fläche unter der Funktionskurve in einem Intervall (eigene Darstellung)

Der Hauptsatz der Integralrechnung $F'(x) = f(x)$ wird für die Intervallgrenzen in Gleichung 3 wiedergegeben. Die erste Ableitung einer Stammfunktion F' stimmt mit der integrierten Funktion f überein, das heißt bestimmte Integrale können aus Stammfunktionen $F(x)$ berechnet werden.

$$A = \int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) \quad (\text{Gl. 3})$$

Der Funktion in einem unbestimmten Integral wird eine Menge von Funktionen zugeordnet, deren Elemente als Stammfunktion bezeichnet werden. Zu einer Stammfunktion kann eine Integrationskonstante C addiert werden, siehe Gleichung 4.

$$A = \int f(x) dx = F(x) + C \quad (\text{Gl. 4})$$

Zur Erarbeitung einer mathematischen Methode für die Aufteilung der ermittelten Gesamtzerkleinerungsarbeit in Teilarbeiten musste je nach Kurvenverlauf eine entsprechend angepasste Funktionsgleichung zur Berechnung der Flächen/Arbeiten gebildet werden. Dies ist im Ergebnisteil im Kapitel 4.1.2.2 im Detail dargestellt.

3.2.2 *Ermittlung der Zerkleinerungsleistung eines 2-teiligen Schneidsatzes im Rahmen der Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs*

Um die Einflüsse durch veränderte rohstoffseitige sowie verarbeitungstechnologisch relevante Faktoren bei der Zerkleinerung von Fleisch an einem 2-teiligen Schneidsatz charakterisieren zu können, wurde die Länge der ausgebildeten Fleischzäpfchen als Kriterium der Zerkleinerungsleistung definiert.

Die Ausbildung der Fleischzäpfchen erfolgte dabei nicht gleichmäßig über alle Bohrungen der Lochscheibe verteilt, siehe Abbildung 31 links, so dass die tatsächliche Länge der Zäpfchen deutliche Schwankungen aufwies.



Abbildung 31: Beispielhafte Darstellung der Ausprägung einzelner Fleischzäpfchen beim Austritt aus einem 2-teiligen Schneidsatz (links und Mitte) und der durch die 4 Messerbalken beeinflussten Bohrungen (rechts: Ansicht von unten, (eigene Darstellung))

Hauptgrund hierfür dürfte vor allem die unterschiedliche und nicht steuerbare Faserausrichtung sein, mit welcher die einzelnen Fleischzäpfchen in die Bohrungen eintraten. Zudem wurden Bohrungen durch die darunter liegenden 4 Balken des Wolfmessers teilweise oder ganz verschlossen, wie Abbildung 31 rechts zeigt. Damit konnte die Fleischzäpfchenlänge nicht direkt, zum Beispiel über einen Längensensor, gemessen werden. Im vorliegenden Fall wurde daher eine rechnerische Lösung gefunden, vergleiche hierzu SCHNÄCKEL et al. (2012a).

Nach dem Abschervorgang wurde das Gewicht m (in g) aller Fleischzäpfchen ermittelt. Wird eine Dichte ρ für Fleisch von $1,046 \text{ g/cm}^3$ (PEARSON et al., 1956) angenommen, kann über die Gleichung 5 auf das Volumen V aller Fleischzäpfchen geschlossen werden.

$$V (\text{cm}^3) = \frac{m}{\rho} \quad (\text{Gl. 5})$$

Wird das Volumen aller Zäpfchen durch die Fläche A (in cm^2) aller offenen Bohrungen dividiert, kann auf die mittlere Länge l eines Fleischzäpfchens geschlossen werden (SCHNÄCKEL et al., 2012a), siehe Gleichung 6.

$$l (\text{cm}) = \frac{V}{A} \quad (\text{Gl. 6})$$

Eine genaue Charakterisierung der untersuchten Lochscheiben für die Berechnung der Fleischzäpfchenlänge ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Charakterisierung der im 2-teiligen Schneidsatz verwendeten Lochscheiben

Bohrungs- durchmesser (mm)	geschlossene Bohrungen (Anzahl) *	offene Bohrungen		
		Anzahl	Fläche A (cm^2)	innere Gleitfläche (cm^2)
3	56	142	10,04	107,07
4	28	62	7,79	62,33
5	22	44	8,64	55,29
6	14	28	7,92	42,22
7,8	8	16	7,65	31,37

(* Durch die 4 Balken des Wolfmessers verschlossene Bohrungen. Die Fläche dieser Bohrungen ist von der Gesamtfläche abzuziehen.)

3.2.3 *Bewertung der in den Versuchsserien der Technikumsversuche hergestellten Wurstbräte und Bockwürste*

Die in den Versuchsserien der Technikumsversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. dem Kutter hergestellten Wurstbräte und die daraus produzierten Bockwürste wurden sensorisch sowie mit Hilfe verschiedener chemisch-physikalischer und ernährungsphysiologischer Kenngrößen hinsichtlich ihrer Qualität bewertet.

Zielstellung war die Erzeugung einer bestmöglichen Produktqualität durch Auswahl und Optimierung der Verarbeitungsparameter sowie die Überprüfung der Qualität mit herkömmlichen Emulgierverfahren. Zudem sollte eine mögliche Einflussnahme der neuen Methode zur Feinbrätherstellung auf die sensorische und ernährungsphysiologische Wertigkeit der hergestellten Bockwürste herausgestellt werden.

Die **sensorischen Eigenschaften** Aussehen, Textur, Geruch und Geschmack bilden die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl geeigneter Verarbeitungsparameter, da Konsumenten vor allem hierauf besonderen Wert legen.

Um die technologische Verfahrensführung besser bewerten zu können, wurden auch relevante **chemisch-physikalische Kenngrößen** wie der pH-Wert, das Wasserbindvermögen, die Emulsionsstabilität, die Scherkraft sowie die Penetrationshärte, aber auch die Farbe ermittelt.

Des Weiteren wurden der Gesamtwasser- und Fettgehalt sowie der Anteil an TBARS untersucht, um die **ernährungsphysiologische Wertigkeit** beurteilen zu können.

In den Serien der Technikumsversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter wurden die relevanten **verarbeitungstechnischen Parameter** Temperatur und Druck erfasst, um das Verarbeitungsverfahren zu überwachen. Somit sollten Veränderungen schon während der Bearbeitung ersichtlich werden, um Aussagen über die bei der Feinbrätherstellung auftretenden Beeinflussungen der Brät- und Erzeugnisqualität zu gewinnen.

Die gewonnenen Daten wurden einer **statistischen Auswertung** bezüglich Mittelwert und Standardabweichung unterzogen und signifikante Unterschiede wurden mittels einer Varianzanalyse herausgestellt.

3.2.3.1 Sensorische Untersuchungsmethoden

Die Sensorik wird immer mehr in der Lebensmittelindustrie zur Qualitätsbeurteilung eingesetzt, um beispielsweise neue Produkte zu entwickeln, Rezepturen zu optimieren, die Lagerstabilität oder auch die Verbraucherbeliebtheit herauszustellen (MATISSEK et al., 1992).

Die Organoleptik, auf deren Grundlage sich die Sensorik entwickelt hat, verbindet unterschiedliche individuelle Erfahrungen der Prüfer, wodurch ein Sinneseindruck entsteht, der in Form des Untersuchungsergebnisses wiedergegeben wird. Dieses Ergebnis beruht auf subjektiven Eindrücken und entsteht allein durch den Sinneseindruck der Prüfperson. Während des sensorischen Prüfungsvorgangs werden die verschiedensten Sinneseindrücke und Wahrnehmungen empfangen und aufgenommen, erkannt und bewusst gemacht, verglichen und eingeordnet, gemerkt und behalten, beschrieben und wiedergegeben sowie beurteilt und bewertet. Die bei der sensorischen Prüfung entscheidenden Sinneseindrücke kommen über verschiedene Wahrnehmungen zum Ausdruck. Eine olfaktorische Wahrnehmung erfolgt über das Riechorgan (zum Beispiel Aroma, Neben-, Fehl-, Anfangs-, Haupt- oder Nachgeruch) und wird durch die Art, Intensität und den Ablauf der Prüfung bestimmt. Die gustatorischen Wahrnehmungen kommen über den Geschmack infolge der Reizung der

Schleimhaut von Zunge, Mundhöhle und Rachen zustande. Sie sind durch die fünf Geschmackseindrücke süß, salzig, sauer, bitter und umami charakterisiert und entstehen in Verbindung mit weiteren Geruchs- und Aromaeindrücken, beispielsweise mit einem Fehl-, Anfangs-, Haupt- oder Nachgeschmack. Die visuellen Wahrnehmungen betreffen die optisch wahrnehmbaren Eindrücke von Farbe, Form, Oberfläche und Gefüge). Haptische Wahrnehmungen wie unter anderem der Tasteindruck, der kinetische Eindruck der Konsistenz und der Textur oder das Temperaturempfinden werden über Hände, Finger, Zunge, Mundhöhle und Rachen wahrgenommen. Als Gesamteindruck beim Schmecken bezüglich der Empfindungen für Geschmack, Geruch, Kraftaufwand, Temperatur, Mundgefühl (Tasten) und Schmerz entsteht das Flavour. Das Ziel sensorischer Analysen ist die Untersuchung definierter Produkteigenschaften und Produktmerkmalen oder eine Qualitätsprüfung. (PRÄNDL et al., 1988; SIELAFF, 1995; BRANSCHIED et al., 2007b)

Durch die Anwendung anerkannter Prüftechniken, der Einhaltung von Rahmenbedingungen (Prüfraum, Umfeld) und sorgfältiger Vorbereitung, Durchführung und Auswertung kann in Verbindung mit der Genauigkeit und der Verlässlichkeit der Ergebnisse von Sinnesprüfungen ein objektives Ergebnis erreicht werden (PRÄNDL et al., 1988; N.N., 2006c; BRANSCHIED et al., 2007b). Je nach Prüfbedingungen können Prüfpersonen (geschulte Prüfer oder Laien) für sich oder in Gruppen mit oder ohne Absprache das Produkt bewerten (PRÄNDL et al., 1988; SIELAFF, 1995).

Die sensorischen Prüfverfahren können nach BRANSCHIED et al. (2007b) eingeteilt werden in:

- Unterschiedsprüfungen: Bestimmung des Unterschieds zwischen Proben, zum Beispiel über eine Paarweise Unterschiedsprüfung, Dreiecksprüfung, Duo-Trio-Prüfung oder Rangordnungsprüfung.
- Beschreibende Prüfungen: Möglichst genaue wertneutrale verbale Beschreibung eines Merkmals einer Probe bspw. mittels Einfach beschreibender Prüfung, Profilprüfung oder Schwellenprüfung.
- Bewertende Prüfungen: Beschreibung der Probe als Gesamtheit oder von Einzelmerkmalen anhand einer Bewertenden Prüfung mit Skala, Rangordnungsprüfung oder Profilprüfung.

Verwendung in der vorliegenden Arbeit fand eine „Einfache beschreibende Prüfung“, welche als Konsensprüfung durchgeführt wurde. Bei einer Konsensprüfung findet eine Bewertung der Endprodukte in einer Gruppe statt, wobei ein Austausch der wahrgenommenen Eindrücke erfolgt und ein gemeinsames Ergebnis wiedergegeben wird. Die „Einfach beschreibende Prüfung“ beschreibt objektiv verbal mit eigenen Worten den produktspezifischen Gesamteindruck oder Merkmalseigenschaften eines Produktes. Dabei müssen die Prüfer in der Lage sein, das vorliegende Erzeugnis mit einem imaginären Erzeugnis bestmöglicher Qualität in all seinen Merkmalen zu vergleichen und Abweichungen verbal zu beschreiben. Dies setzt voraus, dass alle Produkteigenschaften bekannt sind, damit erkannte Unterschiede auf ihre technologi-

schen Ursachen zurückgeführt werden können. (PRÄNDL et al., 1988; FLIEDNER, 1993; BRANSCHIED et al., 2007b)

Die verwendete Prüfung orientierte sich bezüglich der bewerteten Qualitätsbegriffe an einer „Bewertenden Prüfung mit Skala“ der DLG (Anhang 51). Für Brühwürste ist in den „Prüfbestimmungen für Fleischerzeugnisse, Fertiggerichte, Tiefkühlkost und Feinkost“ ein Prüfschema aufgezeigt. (N.N., 2006d)

Bei der Beurteilung der Bockwürste wurden das Äußere, das Aussehen und die Farbe bewertet. Besonderer Wert wurde vor allem aber auf die Zusammensetzung sowie Konsistenz gelegt, da hierrüber die Zerkleinerungseigenschaften der Schneidwerkzeuge und die technologischen Verarbeitungsparameter am besten beurteilt werden konnten.

Die Bockwurst-Proben wurden im kalten (aus dem Kühlschrank, Kerntemperatur $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) bzw. warmen (Erwärmung im Wasserbad, Kerntemperatur $72^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Zustand bewertet. Die Temperatur wurde über ein digitales Einstich-Thermometer (ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) kontrolliert.

Das Prüfpanel bestand aus 5 geschulten Prüfern.

Zur Neutralisierung zwischen den Proben wurde Wasser sowie Weißbrot eingesetzt, wie SIELAFF (1995) oder BRANSCHIED et al. (2007b) als Empfehlung angeben.

3.2.3.2 Untersuchung des pH-Wertes

Wissenschaftlich betrachtet ist der pH-Wert der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Im neutralen Bereich von pH 7 liegen Wasserstoff- und Hydroxidionen gleichverteilt vor, höhere Wasserstoffanteile führen zu sauren ($\text{pH} < 7$) und geringere zu basischen Systemen ($\text{pH} > 7$). (PRÄNDL et al., 1988; TSCHUSCHNER, 2004)

Für die Ermittlung des pH-Wertes stehen verschiedene Messmethoden (Indikatorstäbchen, Flüssigindikatoren, Bestimmung mit Phenolrot, elektrometrische Bestimmung) zur Verfügung, wobei die verwendete Methode unter anderem abhängt von der gewünschten Genauigkeit der Ergebnisse, dem zu messenden pH-Bereich oder der Handhabung der Messtechnik (HÜTTER, 1988). Genaue, schnelle und reproduzierbare Ergebnisse lassen sich sehr gut mittels der elektrometrischen Messung mit Glaselektrode erzielen. Aufgrund einer gewissen Messträgheit sollte die Elektrode mindestens 15 Sekunden in der Probe verbleiben oder, je nach Rohstoff, bis sich der Messwert eingepegelt hat. Die elektrometrische Messmethode definiert den pH-Wert dabei als ein elektrisches Potential zwischen einer Mess- und einer Bezugselektrode. (PRÄNDL et al., 1988; SIELAFF, 1995; TSCHUSCHNER, 2004; BRANSCHIED et al., 2007b)

Für die Untersuchung der hergestellten Wurstbräte und Bockwürste wurde eine Glas-Einstich-Messelektrode (Universal Meter MultiLine P4F/Set-0 mit pH-Meter SenTix Sp, Firma WTW) verwendet. Da der pH-Wert temperaturabhängig ist, muss eine Temperaturkompensierung der Messtechnik vorgenommen werden (HOFMAN, 1987b; TSCHUSCHNER, 2004). Dazu wurde die Messtechnik auf die mittels digitalem Einstich-Thermometer (ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) gemessene Proben-temperatur von 4°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) eingestellt. Zu beachten sind weiterhin die Platzierung der Messelektrode, die Einhaltung der Wartezeiten zum Ablesen der Messwerte und die Reinigung der Elektrode zwischen den Messungen, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen (SCHWÄGELE, 1993; REICHERT, 1996). Alle Messungen wurden 5-mal wiederholt.

Durch die pH-Wert-Erfassung sollte klären werden, ob für das verwendete Schweinefleisch nachteilige Qualitätsveränderungen bezüglich PSE oder DFD vorlagen. Diese Veränderungen würden die Haltbarkeit der erzeugten Bockwürste herabsetzen und damit Einfluss auf die Ergebnisse des geplanten Lagerversuchs nehmen. Fleisch mit pH-Werten von unter 5,5 und über 6 (PSE- bzw. DFD-Fleisch) kann in geringen Mengen zur Herstellung von Brühwürsten Einsatz finden, wobei jedoch die Haltbarkeit der Erzeugnisse verringert wird (BAUMGARTNER, 2001; OMIOR, 2005).

Da das Wasserbindevermögen pH-Wert-abhängig ist, muss der pH-Wert für die herzustellenden Brühwurstbräte erfasst werden, um Einflussnahmen diesbezüglich abzuklären.

3.2.3.3 Untersuchung des Wasserbindungsvermögens

Unter dem Wasserbindungsvermögen (WBV) versteht man die Fähigkeit des Fleisches, eigenes oder zugesetztes Wasser bei Einwirkung von Kraft festzuhalten (SCHARNER und SCHIEFER, 1975; KALLWEIT et al., 1988; KÜHNE und FELDHUSEN, 1994; BRANSCHIED et al., 2007b).

Das Wasser ist dabei im Muskel unterschiedlich fest gebunden. Etwa 70 % des Wassers sind als Hydratationswasser (proteingebunden) und immobilisiertes Wasser (gebunden an Filamenten sowie Fibrillen) fest in den myofibrillären Proteinen eingebunden. Frei bewegliches Wasser liegt zu rund 20 % im sarkoplasmatischen Raum vor „und wird nur durch die Zellmembran am Austritt gehindert“. (HAMM, 1963)

Extrazelluläres Wasser (10 bis 15 %) befindet sich in den Kapillarräumen und wird als freies Wasser bezeichnet (HAMM, 1963; HONIKEL, 1987; BRANSCHIED et al., 2007b).

Das WBV ist pH-Wert-abhängig (HONIKEL, 1987). Abnehmende pH-Werte in Nähe des isoelektrischen Punktes der Muskelproteine bei pH 5 bis 5,4 bedingen eine Verminderung des WBV. Höhere pH-Werte und der Zusatz von Kutterhilfsmitteln führen dazu, dass sich die räumliche Anordnung der Myofibrillen verändert. Es entsteht ein engmaschiges Eiweißnetz, welches einen großen Teil des Wassers locker einbinden

kann. Damit steigt WBV. (BOUTON et al., 1971; KIM et al., 1985; OFFER und KNIGHT, 1988; BRANSCHIED et al., 2007b)

Es stehen verschiedene Methoden zur Bestimmung des WBV zur Verfügung (HOFMANN, 1977; HONIKEL, 1987; SCHWÄGELE, 1993; BRANSCHIED et al., 2007b), wobei sich diese unterscheiden nach der Art der Einwirkung von:

- Schwerkraft (Tropfsaftverlust),
- mechanischen Kräften (Zentrifugier-, Kapillarmetermethode und Filterpapier-Pressmethode) oder
- Hitze (Kochverlust).

Die Methoden sind jedoch wenig miteinander vergleichbar. Aufgrund der einfachen Anwendung und schnellen Gewinnung der Ergebnisse hat sich die Filterpapier-Pressmethode nach Grau-Hamm (GRAU und HAMM, 1953a und 1953b) bewährt. Diese gilt auch als offizielle Referenzmethode nach den „Allgemeinen Verwaltungsvorschriften über die Durchführung der amtlichen Lebensmitteluntersuchung nach dem Fleischhygienegesetz (AVVFIHg)“ (N.N., 2002b).

Das WBV wurde für die hergestellten Wurstbräte und Bockwürste bei einer Temperatur von $4^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (digitales Einstich-Thermometer ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) ermittelt. Das Prinzip der Methode beruht auf dem Abpressen von freiem Wasser aus einer Probe infolge der Einwirkung einer mechanischen Kraft. Die Probe ($m = 3 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$) wurde auf ein Filterpapier mit definiertem Saugvermögen ($F = 0,0084 \text{ g/cm}^2$) aufgebracht und zwischen zwei Glasplatten mit einer definierten Kraft (1 kg-Gewicht) für eine festgelegte Zeit (10 Minuten) belastet. Nach Beendigung der Messung wurden sowohl die Fläche der gepressten Probe (a in cm^2) als auch die sichtbare Fläche an freigesetztem Wasser (b in cm^2) umrandet. Mit Hilfe eines Planimeters (Digital-Polar-Planimeter 330E, Firma Gebrüder HAFF GmbH) wurden die Flächen vermessen. Die Differenz der beiden Flächen wurde in die Gleichung 7 zur Ermittlung des Anteils an locker gebundenem Wasser in der Probe eingesetzt. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen vorgenommen.

$$\text{Lockereres Wasser (\%)} = \frac{b - a}{m} \cdot F \cdot 100 \quad (\text{Gl. 7})$$

Um das WBV nach Gleichung 8 berechnen zu können war es erforderlich, den Anteil an locker gebundenem Wasser vom Gesamtwassergehalt der Probe abzuziehen. Der Gesamtwassergehalt der Probe wurde nach der unter Punkt 3.2.3.7 beschriebenen Methode bestimmt.

$$\text{WBV (\%)} = \text{Gesamtwasser (\%)} - \text{lockereres Wasser (\%)} \quad (\text{Gl. 8})$$

Das WBV sollte Aufschluss darüber geben, wie stabil das Wasser während des neuartigen Zerkleinerungs- und Emulgierungsprozesses im entwickelten Feinbräutomaten in die Brätmasse auch noch nach einer thermischen Behandlung eingebunden wurde.

3.2.3.4 Untersuchung der Emulsionsstabilität

Die Emulsionsstabilität (ES) entspricht der Wirksamkeit von Eiweißen, eine Emulsion trotz des Einwirkens von mechanischen Kräften, zum Beispiel Zentrifugalkräften oder Hitze, stabil zu halten. Der verbliebene prozentuale Anteil an Gesamtvolumen, der sich nach einer bestimmten Einwirkzeit nicht wieder entmischt, stellt die Beurteilungsgröße dar. (SIELAFF, 1995)

Für die Bestimmung der ES der hergestellten Wurstbräte wurden auf $4^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (digitales Einstich-Thermometer ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) gekühlte Wurstbrät-Proben verwendet. Es wurden $20\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$ Probe (b in g) in ein Zentrifugenröhrchen eingewogen und bei 3000 min^{-1} für 20 Minuten zentrifugiert (Universal 32, Firma Hettich). Die abgetrennte flüssige Phase aus dem kalten Probenmaterial wurde in einen Messzylinder gegeben und verwogen. Im Anschluss daran wurde die Probe in einem Wasserbad (GFL 1008, Firma GFL mbH) bei 90°C bis zu einer Probenkerntemperatur von 72°C erhitzt. Die bei einer erneuten Zentrifugation bei 3000 min^{-1} für 5 Minuten abgetrennte flüssige Phase aus dem heißen Probenmaterial wurde erneut verwogen. Über die Gleichung 9 konnte die ES, ermittelt aus der Beziehung von Probeneinwaage zur Gesamtmenge der abgetrennten Phase (a in g), berechnet werden. Es wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt.

$$\text{ES (\%)} = 100 - \left(\frac{a}{b} \cdot 100 \right) \quad (\text{Gl. 9})$$

Die ES wurde bestimmt um zu prüfen, ob ein ausreichender Emulgierungsprozess mit dem entwickelten Feinbräutomaten auch im Vergleich zur herkömmlichen Kuttertechnik ermöglicht werden konnte. Eine ES von über 95 % verweist nach Erfahrungswerten aus der industriellen Praxis auf eine hohe Brätstabilität, welche im fertigen Endprodukt Brühwurst Qualitätsmängel wie einen Fett- und/oder Geleeabsatz verhindert.

3.2.3.5 Instrumentelle Texturmessung mittels Scherversuch und Penetrationsmethode

Die Textur umfasst die Zusammensetzung der Eigenschaften von Lebensmitteln, die sich durch physikalisch-strukturelle Elemente auszeichnen, siehe Abbildung 32. Ei-

genschaften wie Zartheit, Dichte, Faserigkeit, Zähigkeit, Körnigkeit, Glätte oder Feuchtigkeit werden somit dem Begriff der Textur zugeordnet. Diese Merkmale werden durch Kraft- und Berührungssinne im Mund wahrgenommen. (SIELAFF, 1995)

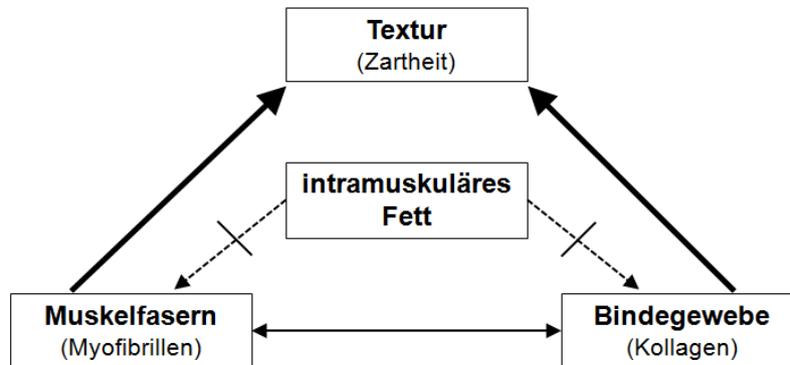


Abbildung 32: Zartheitsfaktoren - Strukturelle Elemente der Fleischtextur (vereinfachte Darstellung nach KREUZER et al., 2008)

Die instrumentellen Methoden zur Texturmessung unterteilen sich nach WEIPERT et al. (1993) in grundlegende quantitative Methoden (Messung exakt definierter rheologischer Größen), empirisch qualitative Methoden (Ermittlung nicht exakt definierter rheologischer Größen durch Korrelation mit sensorisch erfassten Texturmerkmalen) und Imitationsmethoden (empirische Messung durch Imitation des Kauvorgangs im Mund). Ziel ist es, den auf sensorischen Erfahrungen der Kau- und Zahnwirkung beruhenden Messgrößen Textur, Konsistenz und Biss eine objektiv messbare Eigenschaft verleihen, indem das Kauen und die Wirkung der Zähne simuliert wird. Die instrumentelle Texturmessung erfasst nur einzelne physikalische Parameter eines Lebensmittels. Dafür werden in der Regel naturgetreu nachgestellte stumpfe oder konische Messkörper verwendet, um den Biss reell nachzubilden, wobei das Fleisch nicht geschnitten sondern geschert wird. (BRANSCHIED et al., 1998 und 2007b)

Nachfolgend wurden aufgrund ihrer guten Reproduzierbarkeit die beiden instrumentellen Messmethoden Scherversuch und Penetrationsmethode für die Untersuchung der Wurstbrät- bzw. Bockwursttextur ausgewählt. Diese Messverfahren zählen zudem zu den in der Literatur gängigsten Texturmessmethoden. Die gemessenen Daten korrelieren dabei relativ gut mit den sensorisch erfassten Eigenschaften. (WEIPERT et al., 1993; BRANSCHIED et al., 1998)

Ein **Scherversuch** wird mit Hilfe eines Werkzeuges, das sich in einem Universalfestigkeitsmessgerät befindet, durchgeführt. Dabei wird als Indikator für die Textur der Kraftanstieg beim Schneiden mit konstanter Eindringgeschwindigkeit und mit zunehmender Eindringtiefe in die Probe während der Messung ermittelt. Je nach zu untersuchendem Probenmaterial finden unterschiedliche Werkzeuge Verwendung.

(KLETTNER, 1994; HONIKEL, 2000 und 2007; BOURNE, 2002; TSCHUSCHNER, 2004; BRANSCHIED et al., 2007b).

Der Scherversuch wurde für die Untersuchung der Bockwürste herangezogen, um die für das Zerkleinern erforderlichen Texturkenngößen zu erfassen. Einsatz fand ein Texture Analyser TA.XTPlus (Firma Stable Microsystems). Als Werkzeug wurde eine sogenannte Guillotine (gerades Messer mit keilförmiger Scherkante) ausgewählt. Sie simulierte ein einmaliges Abbeißen. Das Werkzeug schnitt mit definierten Parametern für Belastung (75 kg), Schneidweg (25 mm) und Schneidgeschwindigkeit (20 mm/s) quer zur Bissrichtung in die Probe (Würfel mit einer Kantenlänge von 2 cm) und durchtrennte diese ganz. Die aufgezeichnete Kraft-Weg-Kurve wurde mit der geräteinternen Software (Texture Exponent, Version 4.0.12.0, Firma Stable Microsystems) nach den Texturparametern:

- maximale Schneidkraft (N/m^2) und
- Schneidarbeit (Nm/m^2) als Fläche unter der Kurve ausgewertet.

Die untersuchten Proben hatten eine Temperatur von 4°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$, digitales Einstich-Thermometer ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) und wurden aus deren Kern der Bockwurst entnommen, so dass sie keinen anhaftenden Darm enthielten. Es wurde eine 5-malige Messwiederholung durchgeführt.

Bei der **Penetrationsmethode** wird als Texturkenngöße die Penetrationshärte bestimmt. Hierbei dringt ein Prüfkörper infolge des Anlegens einer definierten Belastung (oftmals über das Einwirken der Schwerkraft) in die Probe für eine festgelegte Zeit ein (KLETTNER, 1996 und 1983; TSCHUSCHNER, 2004). Der vom Eindringkörper zurückgelegte Weg stellt ein Maß für die Festigkeit dar. Das Aussehen des Prüfkörpers wird dabei vom zu untersuchenden Probenmaterial bestimmt. Die Penetrationsmethode bildet den Vorgang des Zermahlens zwischen den Zähnen sehr gut nach, wobei die Ergebnisse auch gut mit sensorischen Eindrücken korrelieren (BRANSCHIED et al., 2007).

Die Penetrationsmessung wurde mit Hilfe eines Penetrometers (AP4/3, Firma OF) durchgeführt und fand für die Untersuchung der Wurstbrät- und Bockwurstproben Anwendung. Da unterschiedliche Probenmaterialien untersucht wurden, kamen zwei Prüfkörper zum Einsatz, siehe Tabelle 6.

Tabelle 6: Spezifikationen der Prüfkörper bei der Penetrationsmessung

untersuchte Probe	Prüfkörperspezifikation			
	Prüfkörper	Durchmesser an Basis (d in m)	Winkel an Basis (α in °)	Gewichtskraft (G in N)
Wurstbrät	Halbkugel	0,025	126,5	1,231
Bockwurst	Spitzkegel	0,026	40,6	1,270

Die Messzeit betrug 10 Sekunden. Über die am Penetrometer abgelesene Eindringtiefe (PD = abgelesener Wert \cdot 10, in mm) wurde durch eine Umrechnungsformel, siehe Gleichung 10, die Penetrationshärte PH berechnet. In die Berechnung flossen die Spezifikationen der verwendeten Prüfkörper ein.

$$PH \left(\frac{N}{m^2} \right) = \frac{G}{PD \cdot d \cdot \pi \cdot \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \quad (\text{Gl. 10})$$

Das Wurstbrät wurde für die Messung in eine runde Metallform (Höhe 2 cm, Durchmesser 4 cm) bis zum Rand eingefüllt und die Oberfläche glatt gestrichen. Als Prüfkörper diente ein Halbkugelprüfer aus Metall, wie er für die Messung von viskoplastischen Materialien gängig ist.

Für die Messung des gekühlten Endproduktes wurde ein Spitzkegel-Prüfkörper eingesetzt, der besonders gut für die Messung von plasto-elastischen Proben geeignet ist, um deren innere Beschaffenheit wiederzugeben. Durch die Spitze am Prüfkörper ist ein Eindringen in das Probenmaterial gegeben, um so die Konsistenz auch in tieferen Schichten während des Eindringens als Gesamteindruck messen zu können. Die Probe wurde in Würfel mit einer Kantenlänge von je 2,5 cm zugeschnitten. Der Prüfkörper wurde dabei im rechten Winkel zur Bissrichtung der Wurst aufgesetzt.

Die untersuchten Proben hatten jeweils eine Temperatur von 4°C (\pm 0,5°C) und wurden im Bezug auf die Bockwurstprobe aus deren Kern entnommen, so dass sie keinen anhaftenden Darm enthielten. Es wurde eine 4-malige Messwiederholung vorgenommen.

3.2.3.6 Untersuchung der Farbkennwerte

Die von einem Menschen wahrgenommene Farbe eines Objektes entspricht dem reflektierten Teil von elektromagnetischen Wellen von weißem Licht, da in Abhängigkeit von der Farbe des Objektes nur bestimmte Wellenlängen absorbiert werden (SIELAFF, 1995).

Mittels der Farbmessung soll die subjektive Wahrnehmung durch den Menschen mit Hilfe von Instrumenten in Form von Farbmesszahlen reproduzierbar wiedergegeben werden (BRANSCHIED et al., 2007b). Die verwendeten Messtechniken unterscheiden

sich dabei zum Beispiel durch die verwendete Lichtquelle oder den Beleuchtungs- sowie Betrachtungswinkel. Die „Commission Internationale d’Eclairage - CIE“ hat dazu Standardverfahren und Messbedingungen festgelegt (N.N., 2011e).

Drei Verfahren können für Farbmessungen herangezogen werden (KLETTNER und STIEBING, 1980; PRÄNDL, 1988; RÖDEL, 1991; BRANSCHIED et al., 2007b):

1. Gleichheitsverfahren: Mit Hilfe von produktspezifischen DIN-Farbmusterkarten kann ein Unterscheidbarkeitstest mit bloßen Augen durchgeführt werden.
2. Dreibereichsverfahren: Bei der photometrischen Messung wird das Licht über das Vorschalten geeigneter Farbfilter (R: Rot, G: Gelb, B: Blau) aufgespalten. Die Farbwerte werden in dem 3-dimensionalen Koordinatensystem „RGB“ abgebildet.
3. Spektralverfahren: Das Licht wird über ein Prisma in seine einzelnen Wellenlängen zerlegt. Über die Erstellung einer Remissionskurve können die Farbmesszahlen berechnet werden. Die Darstellung der Farbe einschließlich der ermittelten Helligkeit erfolgt über das 3-dimensionale Koordinatensystem „Lab“. Dabei entspricht L der Helligkeit (0 = schwarz, 100 = reinweiß), a dem Rot-Grün-Farbbereich (+a rot, -a grün) und b dem Gelb-Blau-Farbbereich (+b gelb, -b blau).

Bei Anwendung des Gleichheitsverfahrens haben stets subjektive Faktoren und vor allem Beleuchtungsbedingungen einen Einfluss. Die Farbwiedergabe über das RGB-System entspricht nicht dem Wahrnehmungsvermögen des menschlichen Auges, beispielsweise können nicht so viele Rot-Farbnancen dargestellt werden. In Wissenschaft und Praxis hat sich daher die Farbmessung nach dem Lab-System (auch CIE-Lab genannt) durchgesetzt. Vorteile des Spektralverfahrens sind die gut standardisierbaren Messbedingungen und die bessere Vergleichbarkeit der gemessenen Farbwerte mit dem Wahrnehmungsvermögen des menschlichen Auges.

Zum Einsatz kam das Farbmessgerät SpectorColor mit Ulbricht’scher Reflexionskugel (Firma Dr. Lange), welches nach dem Prinzip des Spektralverfahrens arbeitet. Damit wurde die Farbe der Wurstbräte und Endprodukte gemessen. Als Messbedingungen wurden folgende Einstellungen gewählt: Lichtart D65 für normales Tageslicht, Beobachterwinkel 10° sowie Messwinkel von 8° .

Beachtet werden musste die gleichbleibende Probenvorbereitung und Messanordnung, das heißt der Vollkontakt der Messöffnung mit der Probe zur Vermeidung von seitlichem Lichteinfall. Da der Messkopf mit einem Glasvorsatz geschützt ist, konnte kein Probenmaterial das Gerät verunreinigen. Lediglich die Reinigung der Glasfläche mit einem Tuch vor jeder neuen Messung musste eingehalten werden.

Zur Ermittlung der Farbkennwerte L, a und b wurde der Messkopf auf die glatt gestrichene Fläche des Brätes bzw. auf die frisch angeschnittene Fläche der Bockwurst aufgedrückt. Eine Schichtdicke von mindestens 1 cm wurde eingehalten, um ein Durchscheitern zu unterbinden. Die Mittelwerte pro Farbkennwert für die jeweilige

Charge wurden herangezogen, um den Farbabstand ΔE zu berechnen. Dieser gibt die Gesamtfarbdifferenz aus den Differenzen der L-, a- und b-Werte zweier Farben wieder und kann über die Gleichung 11 ermittelt werden. Alle Messungen wurden je Probenmaterial 5-mal wiederholt und fanden bei einer Proben temperatur von 4°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$, Kontrolle digitales Einstich-Thermometer ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) statt.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (\text{Gl. 11})$$

Die Ergebnisse der Farbmessung sollten herausstellen, ob unterschiedliche Zerkleinerungs- und Emulgierungsintensitäten bei variierenden Verarbeitungsparametern im Feinbräutomaten bzw. im Vergleich zum Kutter farbliche Unterschiede im Endprodukt zur Folge hatten.

Ein Farbabstand von $\Delta E > 1$ stellt nach Definition der „CIE“ (N.N., 2011e) einen geringen, für einen geschulten Beobachter jedoch visuell wahrnehmbaren Unterschied zwischen zwei miteinander verglichenen Proben dar. Für Laien, also gewöhnliche Konsumenten, treten zumeist aber erst ab einem ΔE von > 2 bis > 4 geringe bis merklich sichtbare Abweichungen zwischen Proben zu Tage (HÄBLER, 2004; BIESKE und VANDAHL, 2007; NEUBAUER, 2009; GALL, 2009; WIESER, 2010).

3.2.3.7 Ermittlung des Gesamtwassergehalts

Wassermoleküle können in Lebensmitteln in verschiedensten Formen chemisch bzw. physikalisch gebunden sein, was entscheidend für die Auswahl der geeigneten Messmethode zur Bestimmung des Wassergehaltes ist (MATISSEK et al., 1992; BRANSCHIED et al., 2007b).

Zur Anwendung kam eine indirekte Methode (Sandschalenmethode) bei welcher gravimetrisch der Trocknungsverlust aus der Trocknung einer Probe mit Seesand bis zur Massekonstanz ermittelt wurde. Diese Methode findet auch als Referenzmethode nach den „Allgemeinen Verwaltungsvorschriften über die Durchführung der amtlichen Lebensmitteluntersuchung nach dem Fleischhygienegesetz (AVVFIHg)“ (N.N., 2002b) Einsatz.

Der Gesamtwassergehalt der Brät- und Endprodukte wurde ermittelt, um das Wasserbindungsvermögen und den Fettgehalt berechnen zu können. Dazu wurde ein Metallbecher mit ca. 60 g Seesand gefüllt, mit einem Glasstäbchen zum späteren Untermischen der Probe versehen und für 1 Stunde bei $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ im Trockenschrank (Firma WTB Binder) getrocknet. Nach Abkühlung im Exsiccator wurden $3 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ fein zerkleinerter Probe (a in g) verwogen und mit dem Sand vermischt. Nach einer erneuten Trocknung für 4 Stunden bei $103^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$ wurde nach dem Abkühlen im Exsiccator das Gesamtgewicht der getrockneten Probe (b in g) ermittelt. Über die in Gleichung 12 dargestellte Berechnungsformel (N.N., 2002c und 2005)

konnte der Gesamtwassergehalt ermittelt werden. Es wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt.

$$\text{Gesamtwasser (\%)} = \frac{a - b}{a} \cdot 100 \quad (\text{Gl. 12})$$

3.2.3.8 Ermittlung des Fettgehalts

Anhand der Extraktion mit lipophilen Lösungsmitteln wird die Bestimmung des Gesamtfettgehaltes einer Probe ermöglicht (BRANSCHIED et al., 2007b).

Da bei Wurstwaren die Lipide nicht unmittelbar eingeschlossen sind, ist ein Aufschluss mit Salzsäure nicht notwendig, so dass die eingesetzte direkte Methode nach Soxhlet (Soxhlet-Extraktions-Apparat 810 mit Haake N2 IB Fisons, Firma Büchi) Einsatz fand. Diese Methode beruht auf der Extraktion der wasserfreien getrockneten Probe mit Petroleumbenzin und der nachfolgenden Gewichtsbestimmung des lösungsmittelfreien trockenen Extraktionsrückstandes.

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, erfolgt die Rohstoffsartierung beim Fleischlieferanten nach GEHA (BUCKENHÜSKES et al., 2001), wodurch eine vergleichsweise homogene Rezepturzusammenstellung gewährleistet werden sollte. Gleichwohl sind natürliche Schwankungen in der Gewebezusammensetzung damit nur eingeschränkt erfassbar. Daher wurde chargenweise der Fettgehalt der eingesetzten Rohstoffe als auch der hergestellten Bockwürste ermittelt, um die an unterschiedlichen Tagen bezogenen Rohstoffe und die daraus hergestellte Grundrezeptur auf mögliche Schwankungen in der Zusammensetzung zu kontrollieren. Bei mehreren Versuchen pro Tag auf Basis der gleichen Rohstoffe wurde der Fettgehalt nur exemplarisch bestimmt.

Für die Untersuchung wurde das getrocknete Probenmaterial aus der Bestimmung des Gesamtwassergehalts (a in g) herangezogen. Das Proben-Seesand-Gemisch wurde in eine Extraktionshülse überführt und in die Extraktionsapparatur verbracht. Ein mit Siedesteinchen versetztes, bei $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ im Trockenschrank vorgetrocknetes und nach Abkühlung im Exsiccator auf Raumtemperatur verwogenes Becherglas (n in g) wurde anschließend mit 170 ml Petrolether befüllt und an die Soxhlet-Apparatur angeschlossen. Infolge der Erhitzung des Lösungsmittels verdampfte dieses ab 40°C . Durch eine Abkühlung des Dampfes kam es zu einer Kondensation des Lösungsmittels, welches so in die jeweilige Extraktionshülse tropfte, in der sich das Extraktionsgut befand. Das Lösungsmittel floss innerhalb der 6-stündigen Bearbeitung periodisch durch Überlauf als Extrakt in das Becherglas zurück. Die extrahierten Stoffe reicherten sich dort an, während das Extraktionsgut weiter auslaugte. Anschließend wurde das Becherglas mit dem extrahiertem Fett für 1 Stunde bei $103^{\circ}\text{C} (\pm 2^{\circ}\text{C})$ in einem Trockenschrank getrocknet. Nach dem Abkühlen im Exsiccator auf Raumtemperatur wurde dieses verwogen (m in g). Zur Errechnung des Fettgehaltes

wurde die Gleichung 13 herangezogen. Es wurde eine Doppelbestimmung vorgenommen.

$$\text{Fettgehalt (\%)} = \frac{m - n}{a} \cdot 100 \quad (\text{Gl. 13})$$

3.2.3.9 Ermittlung der thiobarbitursäure-reaktive Substanzen

Während des Verderbs von Fetten werden sekundäre Lipidoxidationsprodukte gebildet. Als Grad für die Oxidation von Fett hat sich die auf Carbonylgruppen ansprechende Thiobarbitursäurezahl etabliert. Sie gibt Auskunft über den Gehalt an thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen (TBARS) und erfasst die Gesamtheit an Abbauprodukten der Polyensäuren. Über einen sogenannten TBA-Test kann der Gehalt an TBARS bestimmt werden, wobei ausgenutzt wird, dass beim Fettabbau freigesetzte Aldehyde mit 2-Thiobarbitursäure (TBA) zu einem roten Farbkomplex reagieren. Über die photometrische Bestimmung der Farbintensität bei 532 nm kann eine Aussage über den Gehalt an Malondialdehyd (MDA in mg/kg) als Hauptoxidationsprodukt der Polyensäuren getroffen werden. (MATISSEK et al., 1992)

Die Bestimmung der TBARS wurde herangezogen, um die Oxidationsstabilität unterschiedlich fein zerkleinerter Bockwürste, hergestellt mit dem Feinbrätautomaten, zu untersuchen. Des Weiteren wurde ein Vergleich der Erzeugnisqualität von mit herkömmlicher Standardtechnik (Kutter) erzeugten Bockwürsten zu Bockwürsten, welche mit dem Feinbrätautomaten hergestellt wurden, durchgeführt. Es wurde untersucht, ob sich die beiden, auf unterschiedlichen Zerkleinerungsprinzipien beruhenden Verarbeitungsverfahren, in der Produktqualität unterscheiden.

Um mögliche Unterschiede beim Fettverderb deutlicher herauszuarbeiten, wurde der MDA-Gehalt über eine Lagerzeit von 6 Wochen im 2-Wochen-Rhythmus ermittelt. Die Proben wurden dafür in speziellen Vakuumbuteln mit einer Vakuumverpackungsmaschine (Webomatic, System 4000, Firma RGS-Technik) einzeln verpackt und bei einer typischen Lagertemperatur von Brühwürsten von 4°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) in einem temperierbaren Kühlraum unter Lichtausschluss gelagert. Die empfohlene Mindesthaltbarkeit liegt bei vakuumverpackten Brühwürsten wie Bockwürste bei 4 bis 7°C Lagertemperatur bei 14 bis 30 Tagen (vergleiche HILSE, 1984; BRANSCHIED et al., 2007b; N.N., 2012b; KAHLERT, 2013; KÖHLER, 2013).

Die Bestimmung des Gehalts an MDA als Indikator für den Anteil an TBARS wurde durch das akkreditierte Lebensmittel- und Umweltlaboratorium ÖHMI Analytik GmbH Magdeburg (ÖHMI, 2012) vorgenommen. Es wurde dort die in ROSENBAUER (2002) beschriebene Methode zur Vorbereitung der Proben (Einwaage n in g) sowie der spektralphotometrischen Bestimmung (Abs) und Berechnung des MDA-Gehaltes verwendet. Dabei wurde über eine Regressionsgerade, siehe Gleichung 14, die Kon-

zentration an MDA im Probenextrakt (x) „auf der Basis von Achsenabschnitt (b) und der Steigung (m)“ ermittelt (ROSENBAUER, 2002).

$$y = m \cdot x + b \quad (\text{Gl. 14})$$

Durch die in der Gleichung 15 aufgestellte Abhängigkeit konnte der MDA-Gehalt errechnet werden. Es erfolgte eine Doppelbestimmung.

$$\text{mg MDA/kg Probe} = \frac{(\text{Abs}_{532 \text{ nm}} - b) \cdot 4}{m \cdot n} \quad (\text{Gl. 15})$$

Die Nachweisgrenze der thiobarbitursäure-reaktiven Substanzen im Untersuchungslabor lag bei $\geq 0,05$ mg MDA/kg Probe.

3.2.3.10 Durchführung der Temperaturmessung in den Technikumsversuchen

Die Temperaturmessung als Indikator für die Intensität des Eintrags an Reibungswärme in das Brät während der Zerkleinerung fand in den Technikumsversuchen mit dem Feinbrätautomaten und der Standardtechnik Kutter Anwendung. Ermittelt wurden dazu:

- im Feinbrätautomaten: die Brättemperatur nach der Feinverwolfung (= „vor der Emulgierung“) und die Brätendtemperatur nach der Bearbeitung (= „nach der Emulgierung“) sowie
- im Kutter: die Ausgangstemperatur der gewolften Rohstoffe (= „vor der Emulgierung“) und die Brätendtemperatur nach der Bearbeitung (= „nach der Emulgierung“).

Zu Beginn der Technikumsversuche mit dem Feinbrätautomaten war eine Temperaturmessung vorerst nur **manuell** mittels zwei digitaler Einstich-Thermometer (ama digit ad18th, Firma Amarell Electronic) möglich.

Im späteren Verlauf der Verfahrensentwicklung wurden zwei gekapselte digitale Temperaturfühler (mit Sensor DS1820, Firma MAXIM Integrated) in den Feinbrätautomaten integriert, welche eine Temperaturmessung **online** ermöglichten. Die Temperaturdaten wurden für die ersten Technikumversuche online über einen AVR-Mikrocontroller (Firma Atmel Corporation) ausgelesen und dann mittels PC ausgewertet. Nach Entwicklung einer automatischen Steuerung für den Feinbrätautomaten erfolgte die Online-Temperaturerfassung und -auswertung über die Software TIZ (Version 1.02, Firma TIZ - Techno Innovations GmbH). Zur Auswertung kamen jeweils nur die letzten 25 Sekunden mit einem Messwert pro Sekunde, da sich aufgrund von Temperatenausgleichsprozessen zwischen dem Brät und dem Gehäuse erst ab einer gewissen Laufzeit ein vergleichsweise konstantes Temperaturniveau einstellte.

Die Temperaturlaufzeichnung wurde vorgenommen, um Informationen über die Temperaturerhöhung (Temperaturdifferenz = „vor zu nach Emulgierung“) während der Verarbeitung zu gewinnen. Entsprechend der erzielten Qualität wurde eine Anpassung der Verarbeitungsparameter bezüglich Rohstoffvorschub und Messerdrehzahl in der Emulgierung vorgenommen.

3.2.3.11 Durchführung der Druckmessung in den Technikumsversuchen

Die Messung des Drucks als Indikator für die Verarbeitungsqualität und als Kontrollgröße für die eingestellten Verarbeitungsparameter wurde in den Technikumsversuchen mit dem Feinbräutomaten online erfasst. Ein zu hoher Druck sollte vermieden werden, um nachteilige ernährungsphysiologische (TBARS) und sensorische (Aussehen, Geschmack, Konsistenz) Veränderungen durch eine zu hohe Rohstoffbeanspruchung (Quetschungen und Freisetzung von Muskelsaft) zu unterbinden. Zudem konnte über den Druck die optimale Abstimmung von Rohstoffvorschub zu Rohstoffverarbeitung im Emulgiersatz überwacht werden. Ein zu hoher Druck ließ darauf schlussfolgern, dass zu viel Rohstoff im Emulgiersatz transportiert, dort jedoch nicht ausreichend schnell verarbeitet wurde und eine Verschlechterung der Qualität nach sich zog.

Die Druckmessung erfolgte online nach der Feinverwolfung, das heißt vor der Emulgierung. Zur Druckmessung stand der Drucksensor PR-35X (maximal 30 bar, Firma Keller) zur Verfügung. Die Messdaten (25 pro Sekunde) wurden über die neu entwickelte, automatisch arbeitende Software TIZ zur Steuerung des Feinbräutomaten (Version 1.02, Firma TIZ - Techno Innovations GmbH) über den gesamten Versuchszeitraum aufgenommen. Bei der nachfolgenden Auswertung wurde ein Mittelwert aus den 25 Einzelwerten pro Sekunde gebildet. Durch unterschiedlich lange Verarbeitungszeiten im Feinbräutomaten, bedingt durch variierende Maschineneinstellungen pro Versuchsschwerpunkt, schwankte die Anzahl der jeweils für die Mittelwertbildung aufgezeichneten Messwerte über die Bearbeitungszeit.

Messtechnisch konnte keine Druckmessung für die Standardtechnik Kutter realisiert werden.

3.2.3.12 Statistische Datenauswertung

Neben der Berechnung der Mittelwerte und entsprechender Standardabweichungen wurden auch signifikante Unterschiede untersucht. Die Daten wurden über das Programm Microsoft Office Excel[®] 2007 bzw. IBM[®] SPSS[®] Statistics 2010 (Version 19) ausgewertet.

Der **Mittelwert** \bar{x} ist definiert als das arithmetische Mittel der Verteilung. Er wird berechnet, indem eine Gruppe von Zahlen addiert und anschließend durch deren Anzahl dividiert wird, siehe Gleichung 16.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Gl. 16})$$

Die **Standardabweichung** s , siehe Gleichung 17, ist ein Maß dafür, wie weit die jeweiligen Werte um den Mittelwert einer Stichprobe streuen.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (\text{Gl. 17})$$

Die Prüfung auf Signifikanzen wurde im Rahmen einer ANOVA Univariaten Varianzanalyse (IBM® SPSS® Statistics) vorgenommen. Die Varianzanalyse bildet über Faktorgruppen, um diese auf generell signifikante Unterschiede in ihren Mittelwerten zu untersuchen. Dazu werden mit Hilfe eines **F-Test** die Erwartungswerte zwischen den Gruppen darauf geprüft, ob zwischen den Varianten einer Versuchsreihe Streuungsunterschiede auftreten und ob die Varianz s^2 zwischen den Gruppen größer ist als die Varianz in den Gruppen, siehe Gleichung 18.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \{s_1^2 > s_2^2\} \quad (\text{Gl. 18})$$

Der F-Test geht dabei von zwei Hypothesen aus:

- Nullhypothese $H_0: s_1^2 = s_2^2 = s^2$, alle Mittelwerte innerhalb der Gruppen sind identisch, das heißt Stichprobenunterschiede sind zufällig.
- Alternativhypothese $H_A: s_1^2 > s_2^2$, mindestens ein Mittelwert ist unterschiedlich, einseitige Fragestellung.

Die Prüfung der Signifikanz erfolgt durch den Vergleich der berechneten Prüfgröße F mit dem in der Tabelle der F-Verteilung bei $\alpha = 0,05$ ausgewiesenem F-Wert und den entsprechenden Freiheitsgraden (FG) für die jeweiligen Stichproben.

- $FG_1 = n_1 - 1$ (n_1 = Anzahl der Werte der Stichprobe 1).
- $FG_2 = n_2 - 1$ (n_2 = Anzahl der Werte der Stichprobe 2).

Dabei gilt:

- $F < (F_{\alpha}, FG_1, FG_2)$: Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Nullhypothese H_0 wird beibehalten.
- $F \geq (F_{\alpha}, FG_1, FG_2)$: Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Nullhypothese H_0 wird abgelehnt, es gilt die Alternativhypothese H_A .

Da die Varianzanalyse nur generelle Aussagen zur Mittelwert-Signifikanz zulässt, müssen anschließend die einzelnen signifikanten Mittelwert-Unterschiede bestimmt werden. Dies wird über Post-hoc-Tests ermöglicht.

Aus der Vielzahl an Tests wurden die ehrlich signifikante, paarweise Differenz-Analyse nach Tukey bzw. ein Tukey-B-Test ausgewählt. Beide arbeiten auf Basis der Student-Verteilung. Es werden multiple Mittelwertvergleiche nach signifikanten Unterschieden für zwei unabhängige Stichproben vorgenommen, wobei das Fehlerniveau, also die Irrtumswahrscheinlichkeit, konstant bei 5 % ($\alpha = 0,05$) bleibt.

Um die Darstellung der signifikanten Unterschiede in Form von Buchstaben im Kapitel 4 (Ergebnisse und Diskussion) zu veranschaulichen, wird nachfolgend in den Abbildungen 33 bzw. 34 je ein Beispiel für eine Abbildung bzw. eine Tabelle vorgestellt. Generell können maximal 4 aufeinander folgende Buchstaben von „a“ bis „d“ bzw. von „w“ bis „z“, je nach Anzahl an verglichenen Parametern und Vergleichsgruppe, angegeben werden.

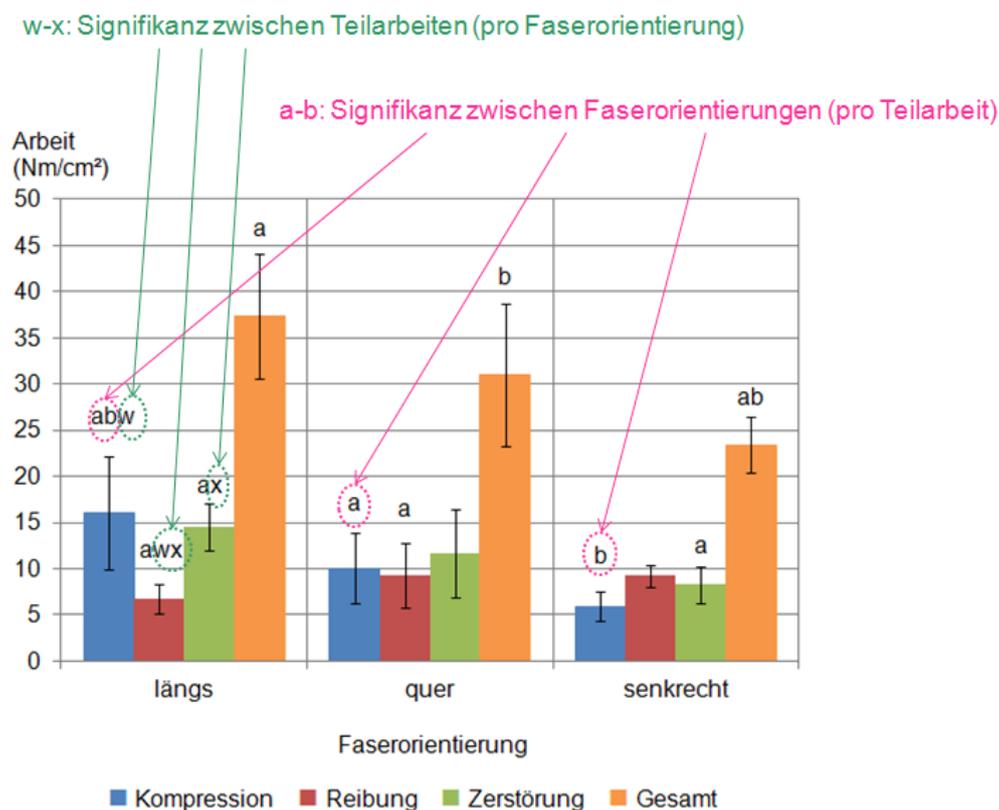


Abbildung 33: Beispiel für die Wiedergabe von signifikanten Unterschieden in den Abbildungen (eigene Darstellung)

In Abbildung 33 verdeutlichen die Buchstaben a und b die Signifikanz zwischen den Faserorientierungen pro Teilarbeit (hier Kompression). Demnach unterscheidet sich die Faserorientierung längs (ab) signifikant von der Faserorientierung quer (a) bzw. senkrecht (b). Die Signifikanz zwischen den Teilarbeiten wird pro Faserorientierung

(hier längs) verglichen und durch die Buchstaben w und x dargestellt. Somit unterscheidet sich der Anteil an Reibungsarbeit (wx) signifikant von jenen Arbeiten für Kompression (w) und Zerstörung (x).

In Abbildung 34 wird durch den Buchstaben a die Signifikanz spaltenweise, das heißt zwischen den Schneidgeschwindigkeiten pro Teilarbeit (hier Zerstörung) verdeutlicht. Demnach unterscheidet sich die Zerstörungsarbeit bei den Schneidgeschwindigkeiten 2 und 20 mm/s signifikant. Die Signifikanz zwischen den Teilarbeiten wird zeilenweise, das heißt pro Schneidgeschwindigkeit (hier 2 mm/s) verglichen und durch die Buchstaben w und x dargestellt. Folglich unterscheidet sich der Anteil an Zerstörungsarbeit (wx) signifikant von der Arbeit für Kompression (w) und Reibung (x).

w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten (pro Schneidgeschwindigkeit)

Schneidgeschwindigkeit	Arbeit (%) von Gesamt		
	Kompression	Reibung	Zerstörung
2 mm/s	34,49 ± 3,05 ^w	37,64 ± 2,51 ^x	27,87 ± 2,42 ^{awx}
20 mm/s	33,03 ± 9,70	29,87 ± 12,24 ^w	37,10 ± 7,20 ^{aw}

a: Signifikanz zwischen Schneidgeschwindigkeiten (pro Teilarbeit)

Abbildung 34: Beispiel für die Wiedergabe von signifikanten Unterschieden in den Tabellen (eigene Darstellung)

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Versuchsserien des 1. Grundlagenversuchs – Darstellung der Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Teilarbeiten

Wie beschrieben, wurden mit den beiden Texture Analyseern TA.XT*Plus* und TA.HD*Plus* (Firma Stable Microsystems) Kraft-Weg-Kurven beim Zerkleinern an einer Lochscheibenbohrung sowie an einer Lochscheibe aufgezeichnet. Mittels geräteinterner Software (Texture Exponent, Version 4.0.12.0, Firma Stable Microsystems) wurde die insgesamt aufgebrauchte Zerkleinerungsarbeit ermittelt. Die gewonnenen Daten wurden dann mit Hilfe von zwei neu entwickelten mathematischen Methoden einer weiteren Auswertung unterzogen. Damit wurde es möglich, die gemessene gesamte Zerkleinerungsarbeit in einzelne Teilarbeiten für Kompression, Reibung und Zerstörung sowie in die ermittelte weitere Arbeit für die Verschiebung aufzusplitten. Die zu verrichtenden Arbeiten (in Nm) entsprachen dabei der Fläche unter der jeweiligen Kraft-Weg-Kurve. (SCHNÄCKEL et al., 2011a, 2011c und 2012a; KRICKMEIER et al., 2012)

4.1.1 Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit für eine Lochscheibenbohrung

Die Abbildung 35 zeigt beispielhaft eine Kraft-Weg-Scherkurve, wie sie beim Zerkleinern von Fleisch an einer Lochscheibenbohrung (Warner-Bratzler-Schere) entsteht. Dargestellt ist auch deren prinzipielle Auswertung zur Ermittlung der Teilarbeiten. Zur Interpretation der Kurve musste in den Versuchen geklärt werden, wann ein Maximum an Kompression erreicht wurde bzw. ab welchem Punkt der eigentliche Zerstörungsprozess, das heißt das Durchtrennen des Probenstücks begann.

Reibung konnte theoretisch erst dann auftreten, wenn die Probe mit den Flanken der Warner-Bratzler-Schere in Berührung kam. Dies bedeutete, dass Reibung auch erst nach dem Beginn des Durchtrennens des Probenstücks auftreten konnte. Nach Abschluss des Zerkleinerungsvorgangs konnte keine Kompression mehr stattfinden. Demzufolge resultierten eventuell noch gemessene Arbeiten ausschließlich auf Reibung. Die Reibung nahm unmittelbar nach Beendigung des Scherprozesses einen Maximalwert an, da der Kontakt zwischen der Warner-Bratzler-Schere und der Probe maximal war.

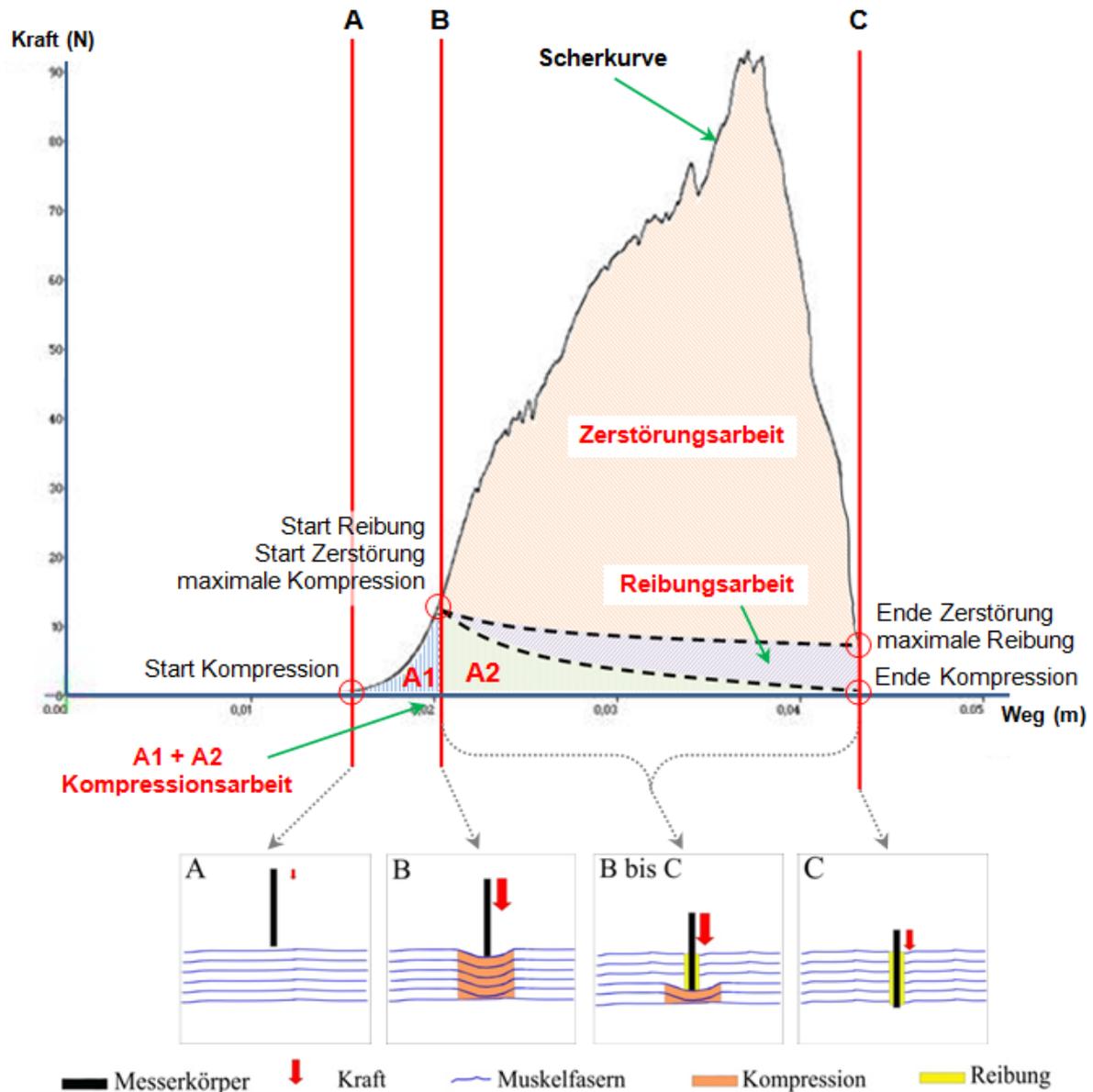


Abbildung 35: Schematische Darstellung einer Kraft-Weg-Kurve sowie deren prinzipielle Auswertung zur Ermittlung der Teilarbeiten beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung kombiniert mit SCHNÄCKEL et al., 2011a)

Die maximale Kompression und damit der Startpunkt des Trennvorgangs wurden zuerst visuell ermittelt. Die Probenstücke wurden dafür jeweils in 1-mm-Schritten mit zunehmendem Werkzeugvorschub belastet und dabei die entsprechende Kraft-Weg-Kurve aufgenommen. Über einen Abgleich des visuell wahrgenommenen Probenzustandes mit der parallel dazu aufgezeichneten Kraft-Weg-Kurve konnte der Zeitpunkt bestimmt werden, wann sich an die reversible Verformung durch Kompression eine irreversible Zerstörung der Muskelfasern durch Schneiden anschloss. Es zeigte sich, dass die Zerstörung der Probe am Wendepunkt der Kurve von konkav nach konvex begann, siehe Punkt B in Abbildung 35 bzw. Punkt 1 in Abbildung 36. Es wurde

nachfolgend davon ausgegangen, dass eine direkte Proportionalität zwischen den erforderlichen Arbeiten für die Kompression (nach Erreichen des Maximums) bzw. für die Reibung und der Querschnittsfläche der zu scherenen Probe besteht. Durch die spezielle dreieckige Grundform der Warner-Bratzler-Schere verhielten sich folglich die Messergeschwindigkeit und die Querschnittsfläche der zu scherenen Probe wie die Höhe (h in cm, siehe Gleichung 19) und die Fläche (A in cm^2 , siehe Gleichung 20) in einem gleichseitigen Dreieck mit g als Basis. (SCHNÄCKEL et al., 2011a)

$$h \text{ (cm)} = g \cdot \sin 60^\circ \quad (\text{Gl. 19})$$

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = g \cdot \frac{h}{2} = \frac{h^2}{\sqrt{3}} \quad (\text{Gl. 20})$$

Um diese Annahme zu belegen, wurde nach Erreichen des Punktes der maximalen Kompression der noch nicht zurückgelegte Scherweg in 10 Intervalle untergliedert, siehe Abbildung 36.

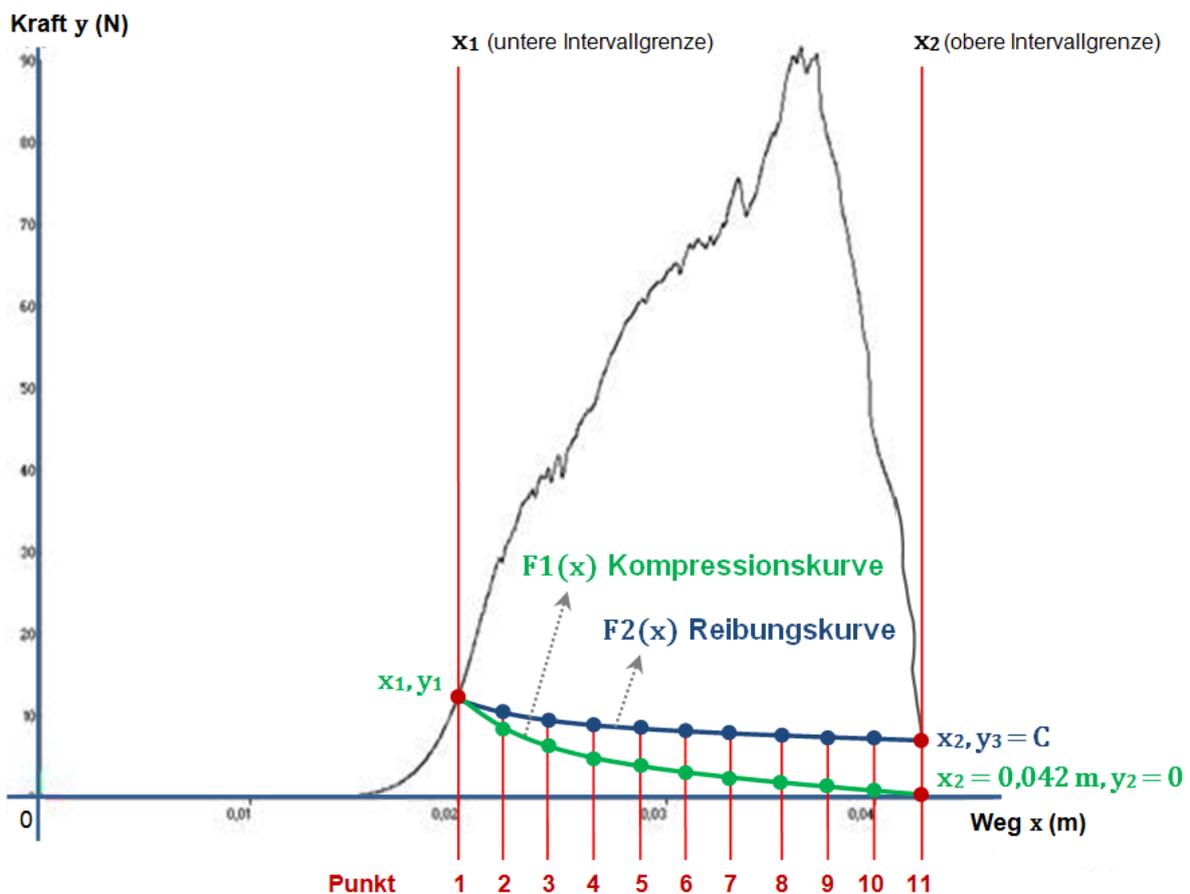


Abbildung 36: Schematische Darstellung der Herangehensweise bei der Integralbildung für die Kompressionskurve $F_1(x)$ und Reibungskurve $F_2(x)$ mit den kurvencharakteristischen Parametern für das Zerkleinern in einer Lochscheibenbohrung (eigene Darstellung)

Dieses Vorgehen diente dazu, um jeweils Punkt für Punkt die Warner-Bratzler-Schere tiefer in die Probe einschneiden zu lassen. Parallel dazu wurde visuell überprüft, wie viel Fläche jeweils geschnitten wurde, das heißt, wie viel Fläche auch für die Reibung verantwortlich zeichnete. Gleichzeitig konnte so auch die noch verbliebene und nachfolgend weiter zu komprimierende Fläche bestimmt werden. Eine zunehmende Fläche bedingte somit einen Anstieg an Kraft und Arbeit für den Zerkleinerungsprozess bzw. war im umgekehrten Fall von einer Verringerung der Kraft und Arbeit bei abnehmender Fläche auszugehen. Da sich die Flächen mehr als proportional veränderten, wurde von keiner linearen sondern einer quadratischen Abhängigkeit ausgegangen. In Tabelle 7 ist dargestellt, wie die auf Basis der visuellen Bewertung ermittelten Abhängigkeiten von Scherweg und Kraftaufwand an den jeweiligen Betrachtungspunkten 1 bis 11 formelmäßig zur Bestimmung der charakteristischen Kurvenverläufe für die Kompression und Reibung umgesetzt wurden.

Tabelle 7: Auflistung der für die Ermittlung des Kurvenverlaufs der Kompressionskurve $F1(x)$ und Reibungskurve $F2(x)$ verwendeten Formeln

Punkt	x Weg (m) $x_2 = 0,042 \text{ m}$	y Kraft (N)	
		Kompressionskurve $F1(x)$	Reibungskurve $F2(x)$
1	$x_1 + 0,0 \cdot (x_2 - x_1) = x_1$	$y_1 \cdot (1 - 0,0)^2 = y_1$	$1,0^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3 = y_1$
2	$x_1 + 0,1 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,1)^2$	$0,9^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
3	$x_1 + 0,2 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,2)^2$	$0,8^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
4	$x_1 + 0,3 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,3)^2$	$0,7^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
5	$x_1 + 0,4 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,4)^2$	$0,6^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
6	$x_1 + 0,5 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,5)^2$	$0,5^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
7	$x_1 + 0,6 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,6)^2$	$0,4^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
8	$x_1 + 0,7 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,7)^2$	$0,3^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
9	$x_1 + 0,8 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,8)^2$	$0,2^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
10	$x_1 + 0,9 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 0,9)^2$	$0,1^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3$
11	$x_1 + 1,0 \cdot (x_2 - x_1)$	$y_1 \cdot (1 - 1,0)^2 = 0$	$0,0^2 \cdot (y_1 - y_3) + y_3 = y_3$

Aus diesen Beobachtungen und Ableitungen ließ sich schlussfolgern, dass die Kompressionskurve $F1(x)$ nach dem Erreichen ihres Maximums in etwa einer quadratischen Kurve bis zum Abschluss des Zerkleinerungsvorganges folgte und Null wurde, siehe Punkt C in Abbildung 35 bzw. Punkt 11 in Abbildung 36. Auch die auftretende Reibung konnte annähernd durch eine quadratische Kurve beschrieben werden. Die Reibung begann zum Zeitpunkt der maximalen Kompression am Punkt B (Abbildung 35) bzw. Punkt 1 (Abbildung 36). Sie strebte bis zum Endpunkt des Scherens, durch Erhöhung der Kontaktfläche von Warner-Bratzler-Schere und Probe, einem Maximum zu (siehe Punkt C, Abbildung 35 bzw. Punkt 11, Abbildung 36). Aufbauend auf den erfassten maximalen Kompressions- und Reibungswerten x_1 und y_3 ließen sich die entsprechenden Kurven für den Verlauf der Kompression und Reibung und damit

die Arbeit exakt berechnen, vergleiche Tabelle 7. Es konnte geschlussfolgert werden, dass die dritte Komponente de facto die Zerstörungsarbeit darstellte. Diese ergab sich als Differenz der aufzubringenden Gesamtarbeit zur Summe der berechneten Flächen für die Kompressions- und Reibungsarbeit, siehe Abbildungen 35 und 36. (SCHNÄCKEL et al., 2011a; KRICKMEIER et al., 2012)

Da durch SCHNÄCKEL et al. (2011a) und KRICKMEIER et al. (2012) der Verlauf der Kompressionskurve $F1(x)$ und Reibungskurve $F2(x)$ als annähernd quadratische Kurve beschrieben wurde, konnte im Folgenden eine entsprechende Funktionsgleichung gebildet werden, welche in Gleichung 21 dargestellt ist. Sie enthält die Konstanten a und b sowie die Integrationskonstante C .

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + C \quad (\text{Gl. 21})$$

Unter Nutzung der kurvencharakteristischen Kraft-Weg-Parameter für die Kompression bzw. Reibung, welche in Abbildung 36 dargestellt sind, konnte eine Ableitung der Integrationsformeln zur Berechnung der Kompressions- und Reibungsarbeit (entspricht der Fläche unter der jeweiligen Kurve) erfolgen.

Die Integrationsgrenzen wurden durch x_1 und x_2 ($= 0,042$ m) definiert. Die Kompressionskurve $F1(x)$ begann bei einer Anfangskraft y_1 am Weg x_1 . Zum Ende des Scherprozesses am Weg x_2 betrug die Kraft $y_2 = 0$ N. Die Reibungskurve $F2(x)$ startete bei einer Anfangskraft y_1 am Weg x_1 und strebte zum Ende des Scherprozesses am Weg x_2 einer Endkraft y_3 zu (entspricht der Integrationskonstanten C).

Durch Umstellung der Formel in Gleichung 21, unter Nutzung der kurvencharakteristischen Parameter, wurden die Konstanten a bzw. b für die Kompressions- bzw. Reibungsarbeit berechnet. Diese wurden in die jeweiligen Stammfunktionen der Integrationsformeln zur Berechnung des Flächeninhaltes, also der Arbeit, eingesetzt.

Für die **Kompressionskurve** wurde die obere Intervallgrenze durch $x_2 = 0,042$ m und $y_2 = 0$ N definiert. Die Integrationskonstante C entfiel ($= 0$). Damit lautete die umzustellende Ausgangsformel

$$y_2 = a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 \quad (\text{Gl. 22}).$$

Nach Einsetzen der gegebenen Parameter (siehe Gleichung 23) wurde die Gleichung 22 nach der Konstanten b umgestellt, siehe Gleichung 24.

$$0 = a \cdot (0,042 \text{ m})^2 + b \cdot 0,042 \text{ m} \quad (\text{Gl. 23})$$

$$b = -a \cdot 0,042 \text{ m} \quad (\text{Gl. 24})$$

Die untere Intervallgrenze für die Kompressionskurve wurde durch x_1 und y_1 definiert. Die Integrationskonstante C entfiel ($= 0$). Die umzustellende Ausgangsformel lautete

$$y_1 = a \cdot x_1^2 + b \cdot x_1 \quad (\text{Gl. 25}).$$

Nach Einsetzen der gegebenen Werte (Konstante b, siehe Gleichung 26) in die Gleichung 25 wurde diese nach der Konstanten a umgestellt, siehe Gleichung 27.

$$y_1 = a \cdot x_1^2 - a \cdot 0,042 \text{ m} \cdot x_1 \quad (\text{Gl. 26})$$

$$a = \frac{y_1}{(x_1^2 - 0,042 \text{ m} \cdot x_1)} \quad (\text{Gl. 27})$$

Die **Reibungskurve** wurde definiert über die obere Intervallgrenze mit $x_2 = 0,042 \text{ m}$ und $y_3 = C$. Damit lautete die umzustellende Ausgangsformel

$$y_3 = a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 + C \quad (\text{Gl. 28}).$$

Nach Einsetzen der gegebenen Parameter (siehe Gleichung 29) wurde die Formel nach der Konstanten b umgestellt, siehe Gleichung 30.

$$y_3 = a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 + y_3 \quad (\text{Gl. 29})$$

$$b = -a \cdot 0,042 \text{ m} \quad (\text{Gl. 30})$$

Die untere Intervallgrenze für die Reibungskurve wurde durch x_1 und y_1 definiert. Die Integrationskonstante C entsprach y_3 . Die umzustellende Ausgangsformel lautete

$$y_1 = a \cdot x_1^2 + b \cdot x_1 + y_3 \quad (\text{Gl. 31}).$$

Nach Einsetzen der gegebenen Parameter (Konstante b, siehe Gleichung 32) wurde die Formel nach der Konstanten a umgestellt, siehe Gleichung 33.

$$y_1 = a \cdot x_1^2 - a \cdot 0,042 \text{ m} \cdot x_1 + y_3 \quad (\text{Gl. 32})$$

$$a = \frac{y_1 - y_3}{(x_1^2 - 0,042 \text{ m} \cdot x_1)} \quad (\text{Gl. 33})$$

Für die Berechnung der kurvencharakteristischen Integrale in den Integrationsgrenzen von x_1 bis x_2 wurde aus der Gleichung 21 nach den Integrationsregeln, vergleiche Gleichung 3 in Kapitel 3.2.1, folgende Stammfunktion aus der quadratischen Gleichung gebildet

$$A = \int_{x_1}^{x_2} F(x) = \left(\left(\frac{a}{3} \cdot x_2^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot x_2^2 \right) + (C \cdot x_2) \right) - \left(\left(\frac{a}{3} \cdot x_1^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot x_1^2 \right) + (C \cdot x_1) \right) \quad (\text{Gl. 34}).$$

Für die Berechnung der **Kompressionsarbeit** $F1(x)$ entfiel die Integrationskonstante C , so dass dies nach Einsetzen bekannter Parameter in der folgenden Stammfunktion resultierte

$$A = \int_{x_1}^{x_2} F1(x) = \left(\left(\frac{a}{3} \cdot (0,042 \text{ m})^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot (0,042 \text{ m})^2 \right) \right) - \left(\left(\frac{a}{3} \cdot x_1^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot x_1^2 \right) \right) \quad (\text{Gl. 35}).$$

Die abgeleitete Stammfunktion für die **Reibungsarbeit** $F2(x)$ lautete nach Einsetzen bekannter Parameter folglich

$$A = \int_{x_1}^{x_2} F2(x) = \left(\left(\frac{a}{3} \cdot (0,042 \text{ m})^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot (0,042 \text{ m})^2 \right) + (y_3 \cdot 0,042 \text{ m}) \right) - \left(\left(\frac{a}{3} \cdot x_1^3 \right) + \left(\frac{b}{2} \cdot x_1^2 \right) + (y_3 \cdot x_1) \right) \quad (\text{Gl. 36}).$$

4.1.2 *Zerkleinerungsvorgänge sowie Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit für eine Lochscheibe*

4.1.2.1 Beschreibung des Eindringverhaltens von Fleisch in die Bohrungen einer Lochscheibe

Für die Methodenoptimierung zur Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Teilarbeiten beim Zerkleinern an einer Lochscheibe, das heißt an mehreren Lochscheibenbohrungen gleichzeitig, mussten grundlegende Fragestellungen geklärt werden.

1. Wie treten die Fleischzäpfchen in die Bohrungen der Lochscheibe ein?
2. Wie läuft der Zerkleinerungsprozess an den Scherkanten ab?
3. Treten gegebenenfalls andere Einflussfaktoren auf, welche die Gesamtzerkleinerungsarbeit beeinflussen? Tritt beispielsweise Reibung, verursacht durch das Versuchssystem selbst, auf?

Zum Eindringverhalten der Fleischzäpfchen in die Bohrungen der Lochscheibe konnten 3 Fälle herausgearbeitet werden (SCHNÄCKEL et al., 2012a).

Fall 1: Die Rohstoffe werden **ausreichend vorzerkleinert**, so dass die Fleischzäpfchen bei Einwirken eines definierten Drucks durch die Bohrungen der Lochscheibe hindurchtreten und dort nicht bzw. nur ungenügend fixiert werden.

Wird ein solches Fleischzäpfchen vom Messer erfasst, wird es nicht geschnitten, sondern aus der Bohrung rückwärts herausgezogen und durch die Messerrotation über die Lochscheibenfläche bewegt. Bei gleichzeitiger Einwirkung von Reibungsarbeit kommt es zu einer Mikroemulgierung, wodurch ein „Verschmieren“ eintritt. Theoretisch besteht damit die Möglichkeit, eine gezielte Emulgierung in einer Wolfmaschine zu realisieren.

Fall 2: Die Rohstoffe werden **nicht ausreichend vorzerkleinert**, aber die Fleischzäpfchen können sich durch den Druck teilweise in die Bohrungen der Lochscheibe hinein wölben. Dabei reicht der erzeugte Anpressdruck nicht aus, um die Fleischzäpfchen dort zu fixieren und an der Bohrungskante zu zerstören.

Wird dieses Fleischzäpfchen vom Messer erfasst, wird es dabei überwiegend wieder rückwärts aus der Bohrung herausgezogen, wobei kein bzw. kein guter Schnitt zustande kommt. Findet dennoch eine Abtrennung statt, entstehen durch dieses „Abraspeln“ sehr kleine Fleischpartikel, welche stark verschmieren. Praktisch führt diese Situation zu einem vergleichsweise geringen Durchsatz bei relativ hohem Energieverbrauch.

Fall 3: Die Rohstoffe werden **unzureichend vorzerkleinert**, können aber durch den Druck in die Bohrungen der Lochscheibe hinein presst werden. Dabei werden die Fleischzäpfchen an den Bohrungskanten zerstört und können als zylinderförmige Fleischzäpfchen in die Bohrungen eindringen. Gleichzeitig werden die Fleischzäpfchen in den Bohrungen fixiert.

In dieser Situation üben auch die Bohrungskanten der Lochscheibe eine Schneidfunktion aus, das heißt ein fester Messerschnitt erfolgt. Dieser findet dann statt, wenn der Messerbalken gerade nicht eine Bohrung überstreicht. Überstreicht das Messer die Lochscheibe, dann werden die Fleischzäpfchen relativ glatt abgeschnitten, so dass dieser Schnitt lediglich für die Längentrennung der Fleischzäpfchen verantwortlich ist. Das Verschmieren wird minimal.

Der beschriebene Effekt des festen Messerschnitts soll in Abbildung 37 verdeutlicht werden. Es ist zu erkennen, dass die Zäpfchen aufgrund der andersartigen Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Gewebe unterschiedlich tief in die Bohrungen eingedrungen sind, aber durch die Schneidfunktion der Bohrungskanten jeweils Zylinder mit klaren Schnittkanten bildeten.

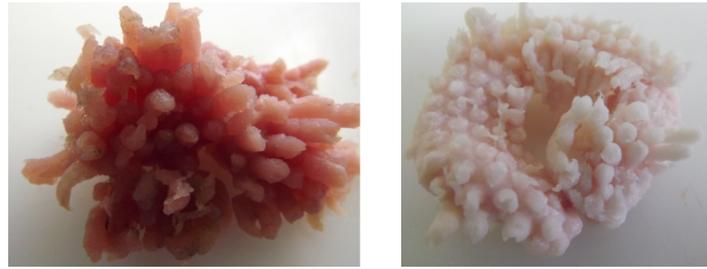


Abbildung 37: Durch eine Lochscheibe mit 3 mm Bohrungsdurchmesser gepresstes Muskelgewebe (links) und Fettgewebe (rechts) vom Schwein mit den ausgebildeten Fleischzäpfchen (eigene Darstellung)

Die dargestellte Fallunterscheidung bildete ein theoretisches Grundgerüst zum Eindringverhalten und zu den stattfindenden Zerkleinerungsvorgängen zwischen Rohstoff, Messer und Lochscheibe. Aus der schrittweisen Betrachtung der einzelnen Zerkleinerungssituationen und -vorgänge wurde aber deutlich, dass der aus verfahrenstechnischer Sicht stattfindende „feste Messerschnitt“ in der Literatur bisher nicht mit dem Wolfprozess in Zusammenhang gebracht wurde. Der feste Messerschnitt findet in einem Wolf dann statt, wenn aufgrund des anliegenden Förderdrucks der Messerraum sowie die Bohrungen der Lochscheibe vollständig mit Fleisch ausgefüllt werden. An den Kanten der Bohrungen kommt es dann zu einer Zerstörung der Fleischfasern, da in Strömungsrichtung des Fleisches die Bohrungskanten als Schneidkante wirken. Das Fleisch wird gewissermaßen in längliche Zylinder, die sogenannten Fleischzäpfchen, zerteilt, welche gut in den Bohrungen der Lochscheibe fixiert sind. Die Kante des rotierenden Messers kann anschließend beim Überstreichen der Lochscheibe die fixierten Fleischzäpfchen verhältnismäßig glatt abscheren (rotatorischer Scherschnitt), so dass ein Verschmieren minimiert wird. (SCHNÄCKEL et al., 2012a)

Wird diese These in der vorliegenden Arbeit bestätigt, beruht der Hauptprozess der Zerkleinerung von Fleisch mittels Wolfmaschinen auf einem festen Messerschnitt an den Bohrungskanten der Lochscheiben in Flussrichtung des Fleisches zu dem Zeitpunkt, wenn der Messerbalken keine Bohrung überstreicht. Bis dato wurde der rotierende Scherschnitt in der Literatur als Hauptfaktor der Zerkleinerung betrachtet, siehe auch KLETTNER (1984a) und PRÄNDL et al. (1988).

SCHNÄCKEL et al. (2012a) konnten hingegen aufzeigen, dass der rotatorische Scherschnitt zwischen dem rotierenden Messer und den Bohrungskanten der fixierten Lochscheibe letztendlich nur der Längentrennung der Fleischzäpfchen dient. Es ist daher erforderlich, dass der rotierende Scherschnitt unmittelbar dem Eindringen des Rohstoffes in die Bohrungen der Lochscheibe folgen muss. (SCHNÄCKEL et al., 2012a)

SCHNÄCKEL et al. (2012a) konnten daher schlussfolgern, dass der Wolfprozess in mehreren Etappen abläuft.

1. Anpressen des Rohstoffes gegen die Bohrungen der Lochscheibe bis zur maximalen Kompression.
2. Scheren des Fleisches an den Kanten der Bohrungen der Lochscheibe und dadurch sprunghaftes Eindringen des Rohstoffes in die Bohrungen.
3. Gleichzeitig erfolgt durch die Messerbewegung eine Verschiebung, wobei Fleischzäpfchen zum Teil wieder aus den Bohrungen der Lochscheibe rückwärts herausgezogen werden.
4. Abschneiden der noch in den Bohrungen der Lochscheibe befindlichen Fleischzäpfchen.

Als praktische Schlussfolgerung für die nachfolgend durchzuführenden Versuche konnte abgeleitet werden, dass der Rohstoff für einen definierten Bohrungsdurchmesser einen definierten Vorzerkleinerungsgrad und ausreichend Zeit haben muss, um in die Öffnungen der Bohrungen einer Lochscheibe einzudringen.

4.1.2.2 Beschreibung der Aufteilung der Zerkleinerungsarbeit in Einzelarbeiten für eine Lochscheibe

In der verwendeten Versuchstechnik wurde nicht ständig ein Schnitt zwischen jeder Bohrung in der Lochscheibe und der Scherkante realisiert. Dies ist aber auch beim Wolfprozess nicht der Fall. So wurden zu einem beliebigen Zeitpunkt ausgewählte Bohrungen durch die Scherkante überstrichen und die eingepressten Fleischzäpfchen abgetrennt. Während dessen wurden eventuell noch nicht gescherte Fleischzäpfchen unter dem Druck der sich bewegenden Lochscheibe partiell wieder aus den Bohrungen herausgezogen. Es trat somit eine zusätzliche Arbeit auf, welche verrichtet werden musste. Diese zusätzliche Arbeitskomponente wurde nachfolgend als Verschiebungsarbeit bezeichnet, siehe Abbildung 38. (KRICKMEIER et al., 2012)

Auch in einem realen Wolfprozess unterliegt der Rohstoff infolge der Messerrotation einer Verschiebung, das heißt einer Rotationsbewegung und wird dadurch partiell rückwärts aus den Bohrungen herausgezogen und in Rotationsrichtung verschoben, wenn gerade kein Trennschnitt erfolgt.

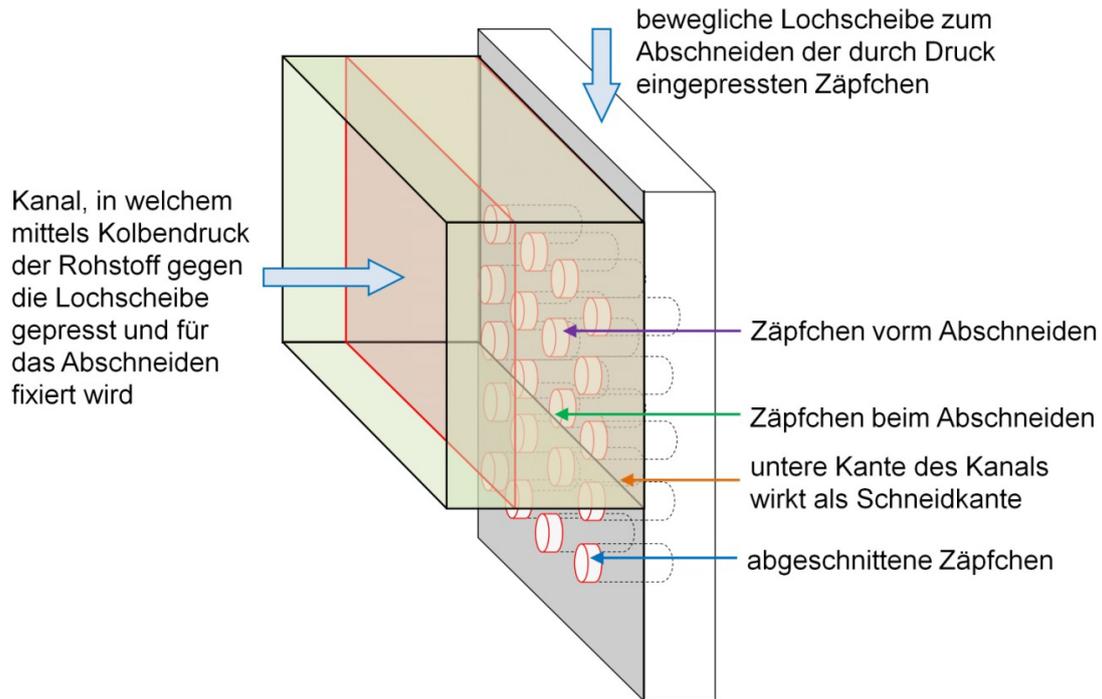


Abbildung 38: Zustandekommen der Verschiebungsarbeit beim Zerkleinern von Fleisch mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung in Kombination mit KRICKMEIER et al., 2012)

In den nachfolgenden Abbildungen 39 bis 41 ist schematisch dargestellt, wie die nach den Teilarbeiten für Kompression, Zerstörung und Verschiebung auszuwertende Scherkurve gewonnen wurde, siehe Abbildung 39 (Seite 102). Diese ergibt sich, indem von der aufgezeichneten Gesamtkraftkurve, siehe Abbildung 40 (Seite 103), die aufgezeichnete Reibungskurve, vergleiche Abbildung 41 (Seite 104), abgezogen wird. Gleichzeitig zeigt die Abbildung 41 die Vorgehensweise zur Ermittlung der Teilarbeit für die Reibung.

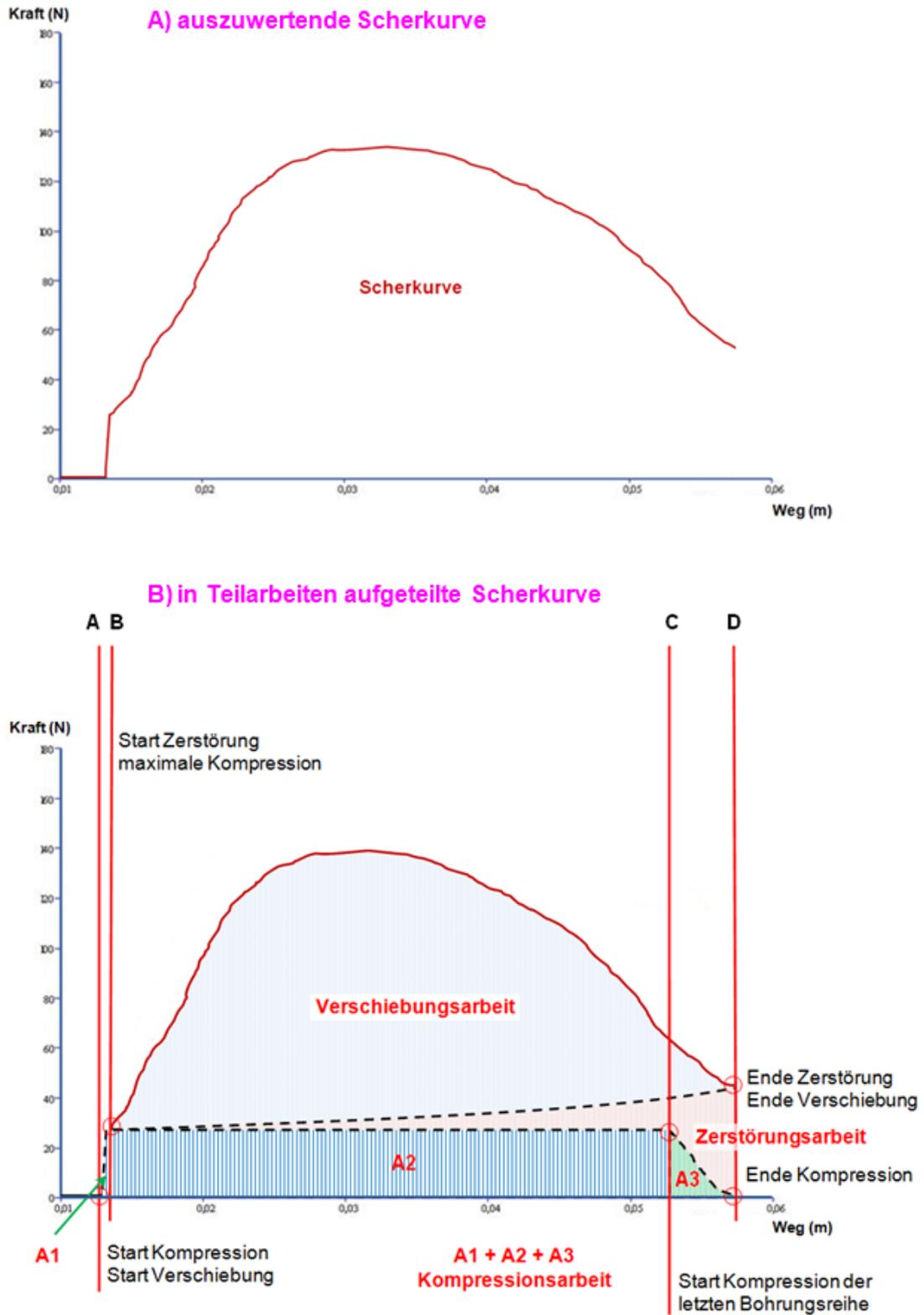


Abbildung 39: Schematische Darstellung einer Schercurve (A) und deren prinzipielle Auswertung (B) zur Ermittlung der Teilarbeiten beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

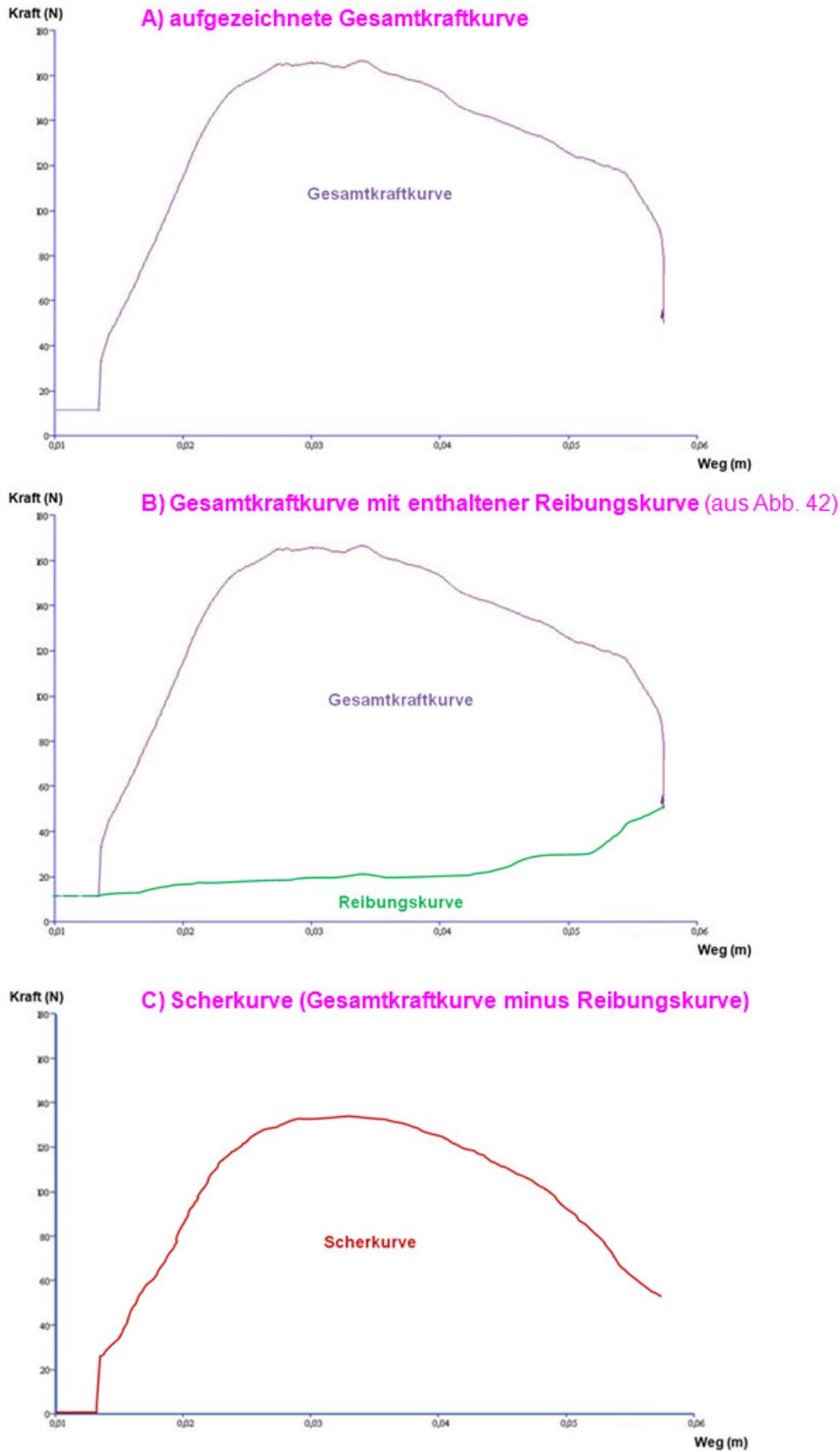


Abbildung 40: Schematische Darstellung einer Gesamtkraftkurve (A, B) und deren prinzipielle Auswertung zur Ermittlung der Scherkurve (C) beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

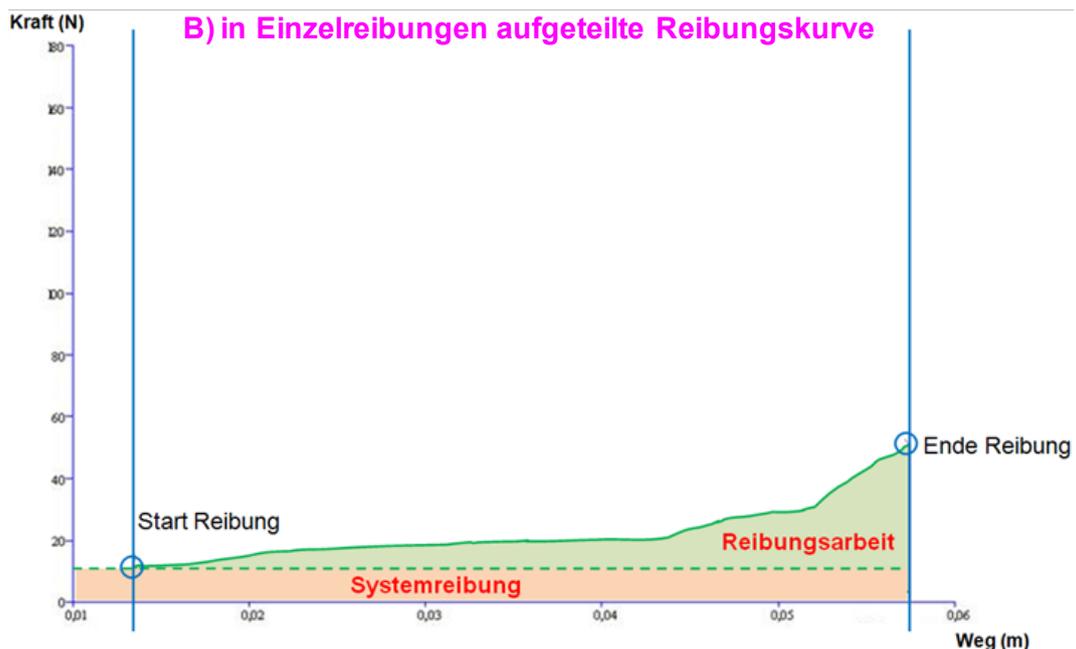
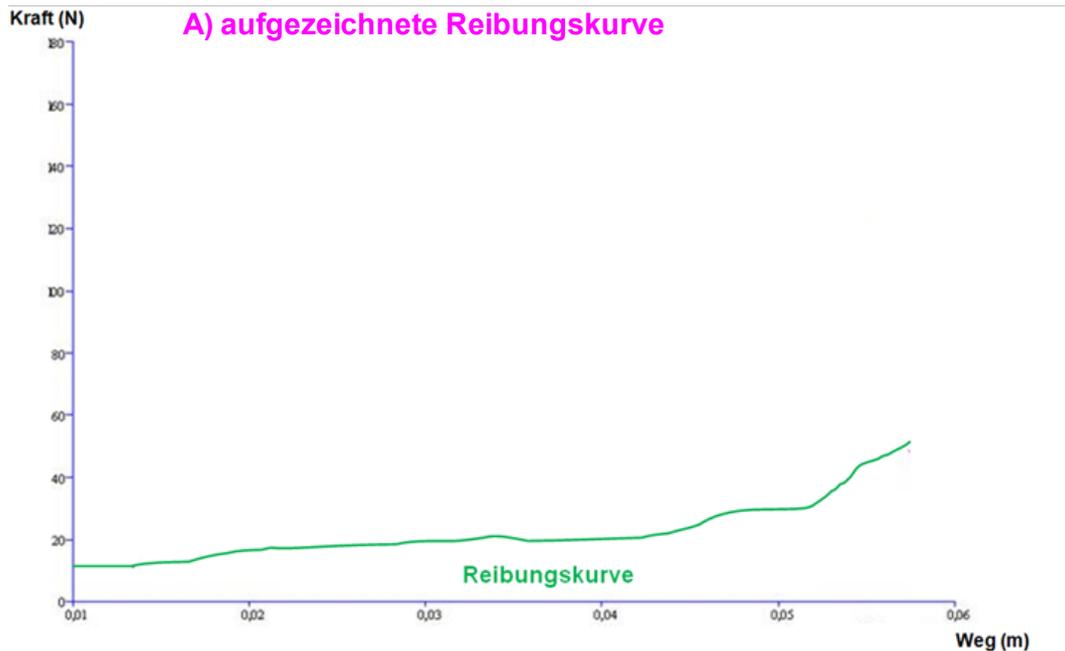


Abbildung 41: Schematische Darstellung einer Reibungskurve (A) und deren prinzipielle Auswertung zur Bestimmung der Systemreibung und der realen Reibungsarbeit (B) beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

Für den Scherprozess mit der entwickelten Versuchstechnik fand ein translatorischer Scherschnitt statt. Demzufolge wurden beim Scheren der ersten Reihe von Fleischzäpfchen diese zunächst komprimiert und konnten erst danach abgeschnitten werden. Durch die Anordnung der Bohrungsreihen, siehe Abbildung 20 (Seite 56), begann nach einem Weg von ca. 50 % des Bohrungsdurchmessers der ersten Reihe

bereits der Kompressionsvorgang für die Fleischzäpfchen in der zweiten Bohrungsreihe. Demzufolge konnte mit entsprechender Näherung geschlussfolgert werden, dass die Arbeit für die Rohstoffkomprimierung ab dem Zeitpunkt der maximalen Kompression vorerst vergleichsweise konstant blieb, siehe Punkt B bis C in Abbildung 39. Für die letzte Bohrungsreihe sank die Kompressionsarbeit wieder auf Null ab und folgte dabei einer quadratischen Kurve, siehe Punkt C bis D in Abbildung 39. In einem realen Wolf findet ein rotatorischer anstatt eines translatorischen Scherschnitts statt. Daher sollte die notwendige Kompressionsarbeit, welche das Messer an den Bohrungen der Lochscheibe leisten muss, konstant und nur noch vom anliegenden Förderdruck, welchen die Schnecke aufbaut, abhängig sein. Die bei vergleichbarem Bohrbild über die genutzte Versuchsvorrichtung ermittelte mittlere Kompressionsarbeit sollte daher theoretisch mit der notwendigen Kompressionsarbeit in einem Wolf identisch sein.

Für die Versuchstechnik konnte nach KRICKMEIER et al. (2012) auch von einer kontinuierlichen Zunahme der Reibungsarbeit ausgegangen werden, siehe Abbildung 41, da sich der geschnittene Rohstoff gegen eine geschlossene Platte drückte und an dieser rieb. Die erforderliche Reibungsarbeit wurde in Anlehnung an BROWN et al. (2005) beim Rückweg der geschlossenen Platte, vorbei am geschnittenen Fleisch, ermittelt. Zudem wurde die systembedingte Reibung erfasst und abgezogen. In einer realen Wolfmaschine kann von einer vergleichsweise konstanten Reibung ausgegangen werden, welche nur beeinflusst wird durch die Rohstoffeigenschaften und den Anpressdruck der Messer auf die Lochscheibe.

Bei der Auswertung der aufgezeichneten Kraft-Weg-Kurve konnte keine direkte Aussage über die auftretende Verschiebungs- bzw. die notwendige Zerstörungsarbeit abgeleitet werden. Es konnte aber davon ausgegangen werden, dass die Zerstörungsarbeit zur Aufhebung der inneren Bindungen im Fleisch nur vom Rohstoff selbst abhängt. Diese Tatsache ermöglichte es, die aus den Scherversuchen an einer Lochscheibenbohrung (Warner-Bratzler-Schere) gewonnenen Daten für eine mathematisch-kalkulatorische Auswertung mit ausreichender Näherung heranzuziehen. Der eigentliche Scherprozess, wie er auch in einem Wolf stattfindet, setzt sich demzufolge aus der Summe einer Vielzahl von Einzelscherprozessen plus der beschriebenen zusätzlichen Verschiebungsarbeit zusammen.

Die Verschiebungsarbeit ließ sich infolgedessen als Differenz der gemessenen Gesamtarbeit abzüglich der berechneten Arbeiten für die Kompression, Reibung und Zerstörung ableiten. (KRICKMEIER et al., 2012)

Beim Zerkleinern mittels einer Lochscheibe war es aufgrund der oben beschriebenen Zerkleinerungsabläufe nur für die **Kompressionsarbeit** erforderlich, diese über eine Integration der Kompressionskurve vom Punkt C bis zum Punkt D zu berechnen, vergleiche Abbildung 39. Da die Kurve nach SCHNÄCKEL et al. (2011a) und KRICKMEIER et al. (2012) in diesem Bereich einen quadratischen Verlauf aufwies, wurde die Methodik zur Auswertung der Kompressionskurve $F_1(x)$ für eine Lochscheibenbohrung herangezogen, wie sie in Kapitel 4.1.1 beschrieben wurde. Damit kamen auch

die Gleichungen 22 bis 27 sowie die Stammfunktion aus Gleichung 35 zur Anwendung.

4.2 Versuchsserien des 2. Grundlagenversuchs – Abhängigkeit der Teilarbeiten sowie der Zerkleinerungsleistung von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern

Im nachfolgenden Kapitel sowie den entsprechenden Anhängen werden ausgewählte Ergebnisse in zusammengefasster Form dargestellt. So soll anschaulicher verdeutlicht werden, welchen Einfluss zum einen rohstoffbedingte Verarbeitungsparameter wie Faserorientierung, Gewebearart, Tierart und Verarbeitungstemperatur sowie zum anderen technologiebedingte Verarbeitungsparameter wie Vorzerkleinerungsintensität, Schneidgeschwindigkeit, Bohrungsdurchmesser und Förderdruck auf die für die Zerkleinerung erforderlichen einzelnen Arbeiten bzw. die erbrachte Zerkleinerungsleistung nehmen.

4.2.1 Abhängigkeit der Teilarbeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung

4.2.1.1 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Faserorientierung

Bei Betrachtung der zu verrichtenden Teilarbeiten in Abhängigkeit von der Faserorientierung in Abbildung 42 (Anhang 1) wird ersichtlich, dass signifikant mehr Arbeit für die Kompression aufgebracht werden muss, wenn die Fasern in Längsorientierung (Schnitt quer zur Faser) zertrennt werden.

LEPETIT et al. (1993) begründen dies damit, dass die Muskelfasern und das Bindegewebe einen Widerstand gegen die Komprimierung aufbauen. Am wenigsten Kompressionsarbeit ist bei einer senkrechten Ausrichtung der Fasern (Schnitt vertikal parallel zur Faser) aufzuwenden. Diese Faserausrichtung ist sehr forminstabil. Nach LEPETIT et al. (1993) hat hier nur noch das Bindegewebe einen Einfluss, so dass die Kompressionsarbeit abnimmt. Bei einem Schnitt quer, das heißt horizontal parallel zur Faser, wird tendenziell mehr Arbeit als in senkrechter Faserausrichtung benötigt. Die senkrechte Faserorientierung verursacht die signifikant größte relative Reibung, bei einer Längsausrichtung treten die geringsten Reibungswiderstände auf.

Die eigentliche Arbeit für die Zerstörung unterscheidet sich bezüglich des relativen Anteils an der Gesamtarbeit nicht signifikant in Abhängigkeit von der Faserorientierung. Bei Analyse der absoluten Werte besteht aber der Trend, dass bei einer Faserausrichtung längs mehr Zerstörungsarbeit erforderlich ist als in senkrechter Ausrichtung, welche die geringste Zerstörungsarbeit benötigt. SACKS et al. (1988) schlussfolgerten, dass bei einem Schnitt parallel zur Faser vornehmlich das elasti-

sche, die Myofibrillen umgebende Bindegewebe durchtrennt wird, wobei beim Scheren in Längsausrichtung, also durch die Fasern, hauptsächlich die weniger elastischen Myofibrillen durchtrennt werden müssen.

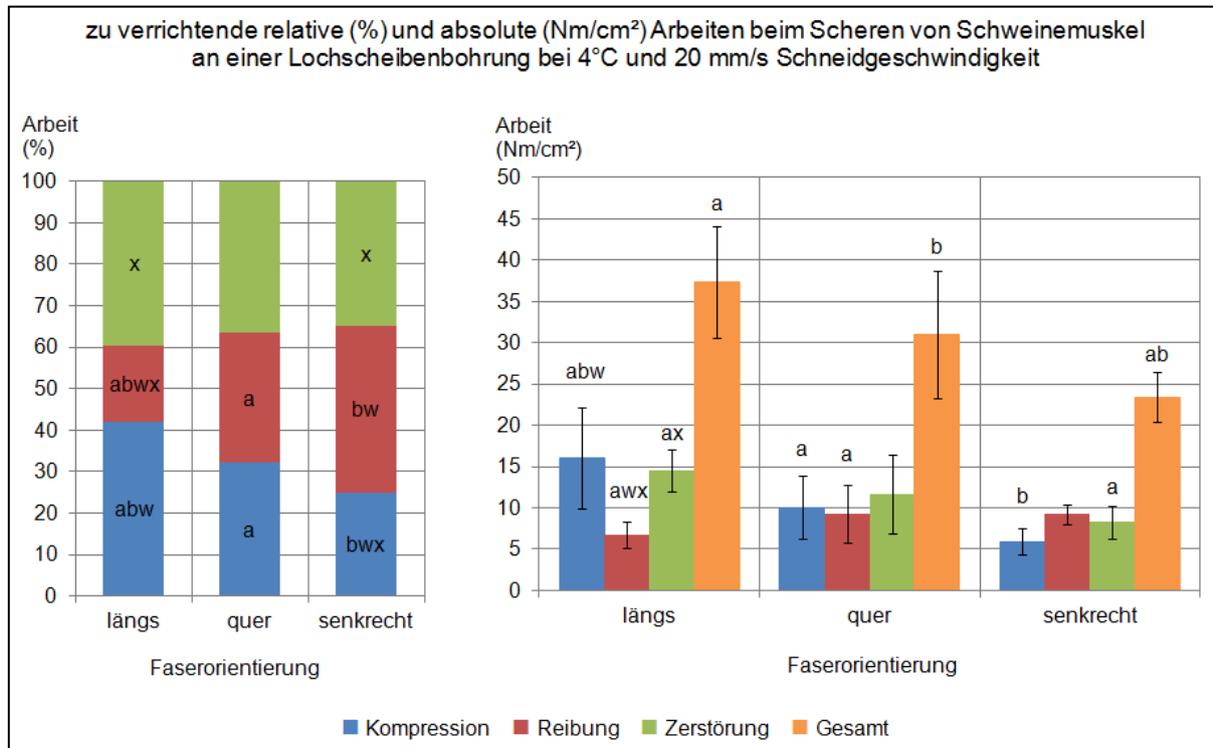


Abbildung 42: Einfluss der Faserorientierung auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung

(n = 10, a-b: Signifikanz zwischen Faserorientierungen pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Faserorientierung, $\alpha = 0,05$)

Die Gesamtarbeit ist insgesamt am größten, wenn Fasern in Längsorientierung gesichert werden. Dieser Unterschied ist signifikant und wird hauptsächlich durch den sehr hohen Anteil an Arbeit für die Komprimierung und Zerstörung hervorgerufen. Dies bestätigen auch MUNRO (1983) und FARAQ et al. (2009). Bei einer senkrechten Ausrichtung wird der geringste Energieaufwand benötigt, da vergleichsweise wenig Kompressions- und Zerstörungsarbeit aufzuwenden ist. Eine Querorientierung erfordert mehr Energie zum Scheren als bei senkrechter Ausrichtung, da hier der Anteil an Arbeit für die Komprimierung und Zerstörung überwiegt. Die Unterschiede zwischen den absoluten Teilarbeiten zur Kompression bzw. Zerstörung sind aber nur für die Längsorientierung der Fasern jeweils zur Reibungsarbeit signifikant.

Bei Betrachtung der Relativwerte insgesamt stellt man fest, dass für die Zerstörung vergleichsweise mehr Arbeit aufgebracht werden muss als zur Komprimierung der Probe bzw. zur Überwindung der Reibung, wobei sich die Teilarbeiten für die senk-

rechte und längsorientierte Faserausrichtung signifikant unterscheiden. Bei quer angeordneten Fasern ist die Verteilung der Arbeiten gleichwertig.

4.2.1.2 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Verarbeitungstemperatur

Mit steigender Verarbeitungstemperatur auf 4°C wird das Fleisch elastischer, so dass signifikant mehr relative Arbeit für dessen Komprimierung aufgebracht werden muss, wie Abbildung 43 verdeutlicht (Anhänge 1-3).

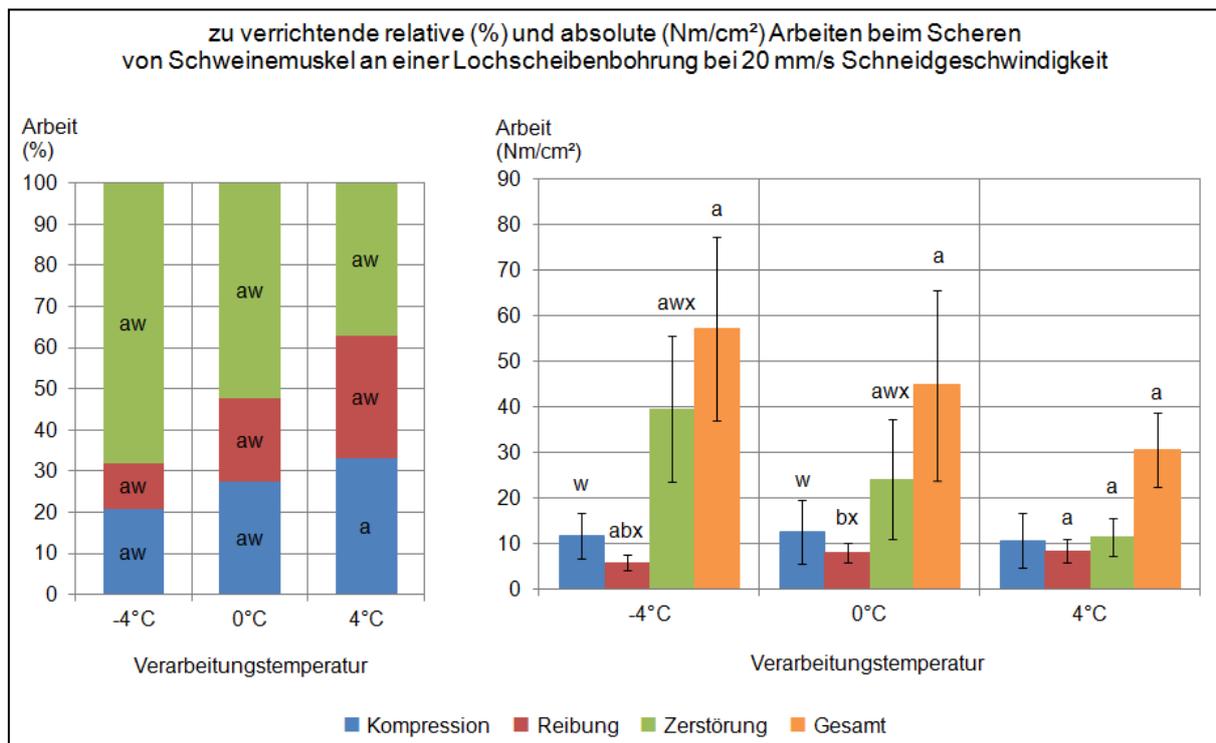


Abbildung 43: Einfluss der Verarbeitungstemperatur auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung

(n = 30 als Mittelwert der Faserorientierungen, a-b: Signifikanz zwischen Verarbeitungstemperaturen pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Verarbeitungstemperatur, $\alpha = 0,05$)

Bei der untersuchten Verarbeitungstemperatur von -4°C liegen nach MORLEY (1972) etwa 74 % des Wassers in gefrorenem Zustand vor. In diesem angefrorenen Zustand weist das Fleisch aufgrund der Eiskristallstruktur in den Zellen eher plastoelastische Eigenschaften auf. Die Komprimierung ist somit vergleichsweise frühzeitig beendet, so dass hier am wenigsten Arbeit aufgebracht werden muss. Auch MUNRO (1983)

und KERRY et al. (2005) beschreiben, dass mit zunehmender Rohstofftemperatur mehr Deformationskraft aufgebracht werden muss.

Steigt die Temperatur, klebt das Fleisch mehr am Scherwerkzeug, da während des Zerkleinerns Fleischsaft verstärkt aus den zerstörten Zellen austritt. Die Reibung erhöht sich signifikant. In gefrorenem Zustand ist der geringste Arbeitsaufwand zur Überwindung der Reibung erforderlich, da die Zellstruktur durch die Kraftereinwirkung partiell auseinander bricht und der Kontakt zum Scherwerkzeug verloren geht. Die Ergebnisse von MUNRO (1983) bestätigen dies.

Der eigentliche Zerkleinerungsprozess fordert bei abnehmender Verarbeitungstemperatur auf -4°C den signifikant höchsten Anteil an Zerstörungsarbeit. Auch KING (1997) und BROWN et al. (2005) zeigten dies mit ihren Versuchsergebnissen. Die feste Struktur, hervorgerufen durch den kristallinen Charakter der gefrorenen Fleischstruktur, bedarf mehr Arbeit zum Durchtrennen. Signifikant am geringsten ist die Zerstörungsarbeit, wenn die Verarbeitungstemperatur in den positiven Bereich bis auf 4°C ansteigt. Das Fehlen von Eiskristallen im Rohstoff ruft eine weichere Fleischstruktur hervor. Die Ergebnisse von MUNRO (1983) und KERRY et al. (2005) bestätigen dies.

Insgesamt muss bei gefrorenen Fleischrohstoffen signifikant mehr Gesamtarbeit aufgebracht werden, um einen Zerkleinerungsprozess zu realisieren und beruht auf der Tatsache, dass mehr Energie für die Zerstörung der Struktur aufgebracht werden muss. In gekühltem Zustand von 4°C ist die geringste Arbeit notwendig. Diese kann im Vergleich zum gefrorenen Zustand auf ca. die Hälfte verringert werden. Die absoluten Teilarbeiten unterschieden sich dabei nicht mehr signifikant, wenn die Temperatur auf 4°C ansteigt.

Für die Zerstörung muss signifikant mehr relative Arbeit aufgebracht werden als für die Kompression und Reibung, wobei die Anteile an Arbeit zur Überwindung der Reibung signifikant am geringsten sind.

4.2.1.3 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Schneidgeschwindigkeit

Bei Veränderung der Schneidgeschwindigkeit können bezüglich der Kompressions- und Gesamtarbeit keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden, wie die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen (Anhänge 1 und 4).

Der relative Anteil an Reibungsarbeit nimmt signifikant ab, wenn die Schneidgeschwindigkeit zu nimmt. Dies ist darauf zurück zu führen, dass bei gleicher Probenhöhe das Scherwerkzeug länger in Kontakt mit dem Rohstoff ist.

Eine höhere Schneidgeschwindigkeit geht mit einem signifikanten Anstieg der Zerstörungsarbeit einher. Auch KING (1999) und BROWN et al. (2000) zeigten, dass mit steigender Messergeschwindigkeit die Scherkräfte zunehmen. VOISEY et al. (1975a) und VOISEY (1975b) erklärten dies damit, dass pro Zeiteinheit mehr Probenquerschnitt durchtrennt werden muss.

Insgesamt betrachtet verteilen sich die einzelnen absoluten Teilarbeiten beim Scheren von Fleisch annähernd gleichmäßig. Bei einer geringeren Schneidgeschwindigkeit sind signifikante Unterschiede zwischen den relativen Teilarbeiten deutlicher erkennbar. Der Aufwand für die Zerstörungsarbeit ist signifikant am geringsten, wobei die Kompressions- und Reibungsarbeit ein vergleichbar hohes Niveau aufweisen. Erhöht sich die Schneidgeschwindigkeit, nimmt die Zerstörungsarbeit den signifikant höchsten Anteil ein.

Tabelle 8: Einfluss der Schneidgeschwindigkeit auf die Teilarbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheidenbohrung bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C

Schneidgeschwindigkeit	relative Arbeit (%) von Gesamtarbeit		
	Kompression	Reibung	Zerstörung
2 mm/s	34,49 ± 3,05 ^w	37,64 ± 2,51 ^x	27,87 ± 2,42 ^{awx}
20 mm/s	33,03 ± 9,70	29,87 ± 12,24 ^w	37,10 ± 7,20 ^{aw}

Schneidgeschwindigkeit	absolute Arbeit (Nm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
2 mm/s	8,80 ± 3,06	9,18 ± 2,89	7,56 ± 3,19 ^a	25,53 ± 8,89
20 mm/s	10,68 ± 5,90	8,41 ± 2,53	11,48 ± 4,12 ^a	30,57 ± 8,27

(n = 30 als Mittelwert der Faserorientierungen, a: Signifikanz zwischen Schneidgeschwindigkeiten pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Schneidgeschwindigkeit, $\alpha = 0,05$)

4.2.1.4 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Tier- und Gewebeart

Bei Betrachtung des Zerkleinerungsverhaltens unterschiedlicher Tier- und Gewebearten, siehe Abbildung 44 (Anhänge 1 und 5-7) ist festzustellen, dass Putenmuskulgewebe signifikant zwar die geringste absolute Kompressionsarbeit erfordert, aufgrund der zarten und elastischen Textur aber die höchste prozentuale Arbeit zur Komprimierung beansprucht. Muskelgewebe vom Rind und Schwein sowie Fettgewebe unterscheiden sich bezüglich der Kompressionsarbeit nicht. Prozentual betrachtet bedarf Schweinefett aufgrund seiner höheren Festigkeit der signifikant geringsten Kompressionsarbeit, bis der Zerkleinerungsprozess einsetzt.

Die beim Scheren von Schweinefett frei werdenden Fetttröpfchen wirken als Gleitfilm und senken den Reibungswiderstand, so dass die relative Reibungsarbeit signifikant am geringsten ist. Absolut betrachtet, unterscheidet sich Putenfleisch aufgrund der geringsten Reibungsarbeit signifikant von den Reibungsarbeiten der anderen Muskelgewebe.

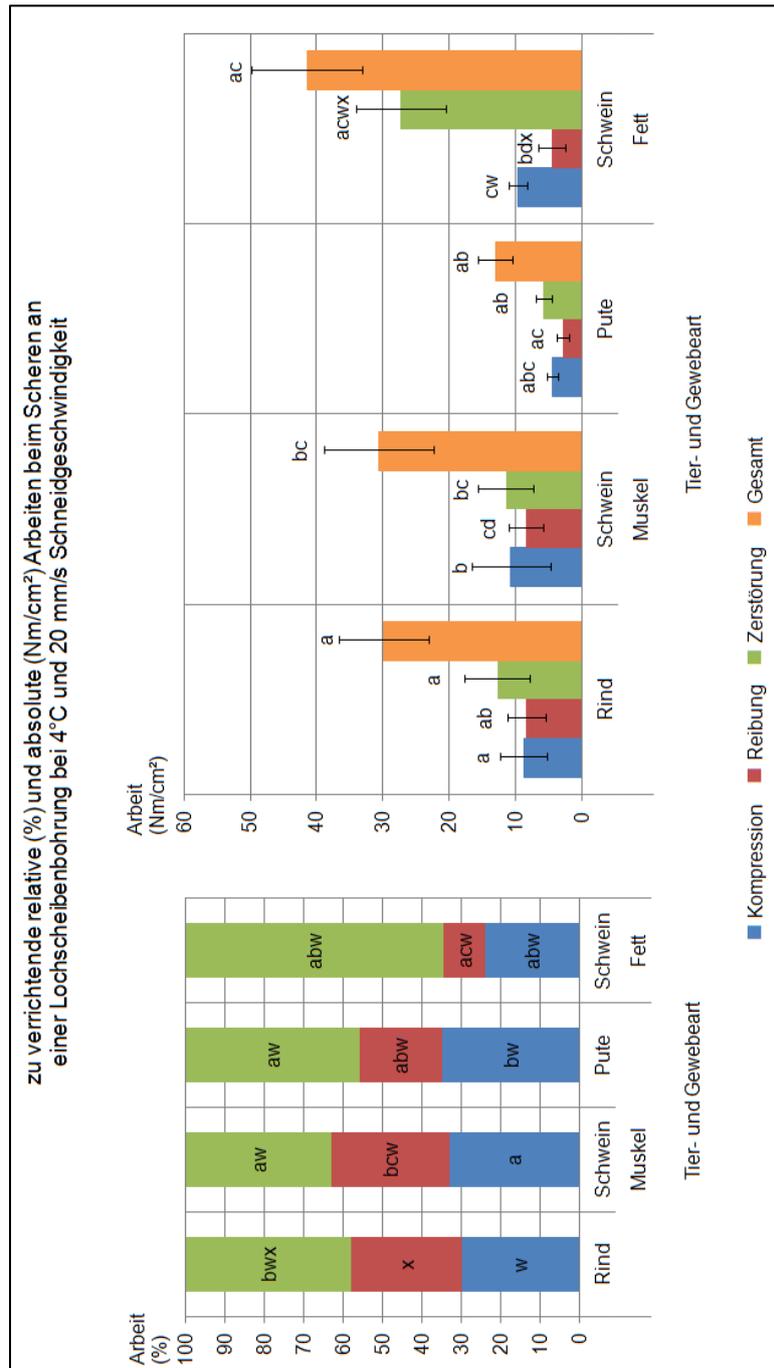


Abbildung 44: Einfluss der Gewebe- bzw. Tierart auf die Teilarbeiten beim Scheren an einer Lochscheibenbohrung

(Fett = 10, Muskelgewebe = 30 als Mittelwert der Faserorientierungen, a-d: Signifikanz zwischen Gewebe- bzw. Tierart pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Gewebe- bzw. Tierart, $\alpha = 0,05$)

Die feste Textur des untersuchten Schweinefettgewebes erfordert den signifikant höchsten Anteil an Arbeit für die Zerstörung im Vergleich zu Muskelgewebe. Dies ist

nach HAUSMAN (1978) darauf zurückzuführen, dass Rückenspeck aus zwei Schichten besteht, welche durch Bindegewebe miteinander verbunden sind.

Beim Scheren muss dieses Bindegewebe durchtrennt werden, was die aufzuwendenden Zerstörungskräfte erhöht. Innerhalb der Muskelgewebe ist der absolute Aufwand für die Zerstörung von Putenfleisch signifikant am geringsten, der für Rindfleisch am größten. Schweinefleisch weist im Hinblick auf die prozentual erforderliche Zerstörungsenergie tendenziell den geringsten Arbeitsanteil auf. Das Schweinemuskel weniger fest ist und einer geringeren Zerstörungsarbeit bedarf, konnten auch KLETTNER et al. (2003), LAWRIE (2006) und MILAN (2011) nachweisen.

Die durch den hohen Anteil an Zerstörungsarbeit insgesamt erforderliche Arbeit für die Zerkleinerung von Fettgewebe ist am größten. Die geringen Anteile an Arbeit für die Kompression, Reibung und Zerstörung bestätigen, dass sich Putenfleisch mit dem geringsten Energieaufwand schneiden lässt.

Bei Betrachtung der Relativwerte insgesamt muss für die eigentliche Zerstörung der Gewebe zumeist der größte Anteil an Energie eingebracht werden, wobei auch für die Komprimierung vergleichsweise viel Arbeit erforderlich ist. Der Aufwand zur Überwindung der Reibung ist gegenüber den anderen Teilarbeiten bei Putenfleisch und Fettgewebe deutlich vermindert.

4.2.2 *Abhängigkeit der Teilarbeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern beim Scheren mittels einer Lochscheibe*

Alle Versuche wurden bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C und einer Schneidgeschwindigkeit der Lochscheibe von 20 mm/s vorgenommen. Unter industriellen Bedingungen kann keine gezielte Faserorientierung eingehalten werden, so dass bei den nachfolgenden Untersuchungen die Muskelgewebeproben willkürlich zugeschnitten wurden.

4.2.2.1 *Besonderheiten bei Zerkleinerungsvorgängen mittels einer Lochscheibe und deren Konsequenzen*

Bei der Untersuchung des Zerkleinerungsverhaltens von Fleisch mittels einer Lochscheibe konnten nur aufgrund der gewählten diskontinuierlichen Versuchsdurchführung Beobachtungen gemacht werden, welche für die Beschreibung der Zerkleinerungsvorgängen an einer Lochscheibe sowie deren Bohrungen entscheidende Erkenntnisse hervorbrachten.

So kam es ab einem bestimmten Verhältnis von Probengröße zum Bohrungsdurchmesser während des Druckaufbaus zu einem stetigen Durchfließen des Rohstoffes durch die Bohrungen der Lochscheibe. Quasi zerkleinerte sich der Rohstoff selbst, ohne einem zusätzlichen Zerkleinern durch eine Scherkante, an welcher die Lochscheibe üblicherweise vorbeibewegt wurde, unterzogen zu werden. Ein derartiger,

nachfolgend als „Durchfluss“ definierter Effekt, wurde rein visuell dann diagnostiziert, wenn die aus den Bohrungen austretenden Fleischzäpfchen die gesamte Kammer hinter der Lochscheibe (mit Acrylplatte verschlossen) ausfüllten, siehe Abbildung 45 links.



Abbildung 45: Relevante Situationen der Fleischzäpfchenbildung beim Scheren an einer Lochscheibe (eigene Darstellung)

Der Durchfluss wurde neben der Abhängigkeit vom Förderdruck, von der Vorzerkleinerungsintensität und dem Bohrungsdurchmesser auch begünstigt durch die bereits beschriebene zusätzliche Wirkung der Stege zwischen den Bohrungen als Schneidkante. Des Weiteren konnte mit diesen Beobachtungen die durch SCHNÄCKEL et al. (2012a) definierte Zerkleinerungswirkung der Lochscheibenbohrungen über einen reinen „festen Messerschnitt“ noch weiter untermauert werden.

Die Beobachtungen zogen Konsequenzen für die nachfolgende Versuchsdurchführung und Auswertung nach sich. So war es folglich nur dann sinnvoll einen Schervorgang zu Ermittlung der Gesamtzerkleinerungsarbeit auszulösen, wenn kein Durchfluss vorlag, das heißt wenn in der offenen Kammer hinter der Lochscheibe visuell ein Stillstand bei der Fleischzäpfchenbildung ersichtlich wurde. Die Kammer wurde dabei nicht vollständig gefüllt, wie die Abbildung 45 im rechten Bild verdeutlicht. Das Abscheren durch Bewegung der Lochscheibe vorbei an einer Scherkante diente dann zum vollständigen Durchtrennen der Fleischfasern.

Für die Ergebnisauswertung hatte dies zur Folge, dass bei insgesamt 10 Messungen pro Versuchseinstellung auch Durchflusssituationen mit gezählt, wenn auch nicht ausgewertet, wurden. Der Anteil an Proben, welche pro Versuchseinstellung einem Durchfluss unterlagen, ist in der Tabelle 9 (Anhänge 8, 10, 12, 14, 16-18 und 20) dargestellt.

Es wird deutlich, dass mit steigendem Bohrungsdurchmesser sowie Förderdruck der Anteil an im Durchfluss befindlichen Proben steigt. Bei einer weniger intensiven Vorzerkleinerung von $\square 40$ sollte der Anteil an Proben, welche fließen, geringer sein. Dass dem nicht so ist, resultiert aus der Tatsache, dass eine Standardisierung des Probenmaterials bezüglich der Faserorientierung nicht sinnvoll war und somit Inhomogenitäten vorlagen. Der Einsatz von im Vergleich zum Schwein weicherem Muskelgewebe von Pute fördert den Rohstoffdurchfluss.

Der feste Messerschnitt spielt folglich eine entscheidende Rolle beim Zerkleinern von Fleisch. Der rotatorische Scherschnitt zeichnet dabei allein für die Durchtrennung der Muskel- und Bindegewebestrukturen quer zur Durchflussrichtung verantwortlich und definiert je nach Rotationsgeschwindigkeit die Länge der in und durch die Bohrungen gedrückten Fleischzäpfchen.

Tabelle 9: Anteil an Proben (%), welche beim Zerkleinern von Schweine- und Putenmuskel mittels einer Lochscheibe einem Durchfluss unterlagen (n = 10)

Bohrungs- durchmesser	Förder- druck	Durchfluss (%)			
		Schweinemuskel		Putenmuskel	
		Vorzerkleinerungsgrad		Vorzerkleinerungsgrad	
		□20	□40	□20	□40
5 mm	3 bar	0	0	30	0
	4,5 bar	0	0	100	10
	6 bar	0	0	100	100
6 mm	3 bar	0	10	100	20
	4,5 bar	10	20	100	100
	6 bar	60	60	100	100
7,8 mm	3 bar	0	0	100	100
	4,5 bar	30	10	100	100
	6 bar	100	100	100	100

4.2.2.2 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Vorzerkleinerungsintensität

Die Vorzerkleinerungsintensität beeinflusst die aufzuwendenden Teilarbeiten, siehe Abbildung 46 (Anhänge 8-9 und 14-15), wobei die erforderliche absolute Arbeit für die Zerstörung eine Konstante ist.

Nimmt die Vorzerkleinerung zu, das heißt werden kleinere Stücke geschert, muss signifikant mehr Kompressionsarbeit aufgebracht werden, da vergleichsweise mehr Fleisch in die Bohrungen eingedrückt werden kann.

Die Reibungsarbeit zeigt eine vergleichbare Entwicklung mit stärkerer Vorzerkleinerung: sie nimmt signifikant zu.

Ein gegenteiliger Trend ist indessen für die notwendige Verschiebungsarbeit festzustellen. Diese sinkt signifikant ab, wenn kleinere Stücke geschert werden. Dies ist damit zu begründen, dass die Muskelfasern aufgrund der intensiveren Vorzerkleinerung weniger lang sind und in geringerem Maße einem rückwärtigen Herausziehen infolge der Vorwärtsbewegung des Messers unterliegen.

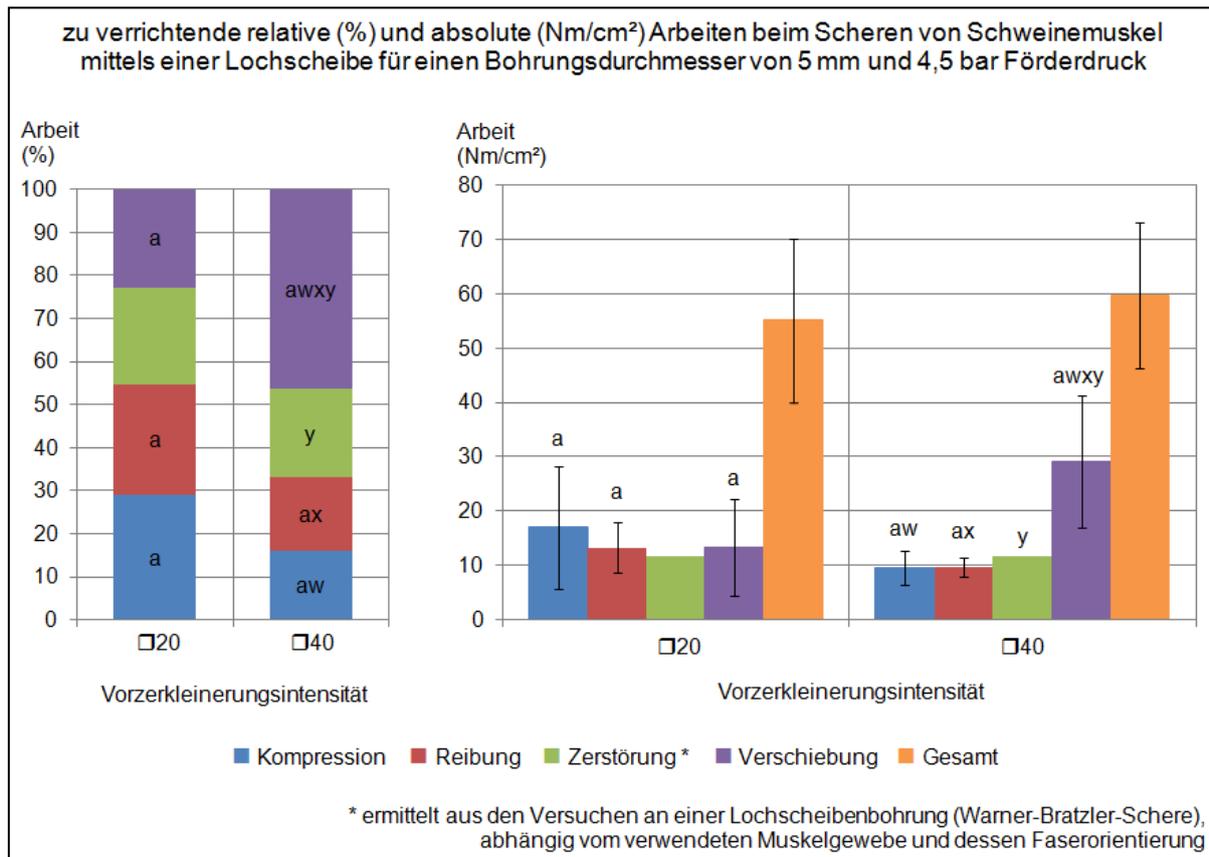


Abbildung 46: Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe

(n = 10, a: Signifikanz zwischen Vorzerkleinerungsintensitäten pro Teilarbeit, w-y: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Vorzerkleinerungsintensität, $\alpha = 0,05$)

Ein signifikanter Einfluss der Vorzerkleinerung auf die Gesamtarbeit ist nicht festzustellen. Die Zerkleinerung von Rohstoffen mit geringer Stückgröße führt dazu, dass eine gleichmäßige Verteilung der Teilarbeiten erfolgt. Deutlich wird bei größeren Stückchen aber, dass sich der Arbeitsaufwand für die Verschiebung auffallend erhöht und signifikant von den anderen Teilarbeiten unterscheidet. Demzufolge ist die Intensität der Verschiebungsarbeit maßgeblich dafür verantwortlich, wie viel Energie für das Scheren größerer Rohstoffe aufgebracht werden muss.

4.2.2.3 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten vom Förderdruck

Mit steigendem Förderdruck ist tendenziell mehr Arbeit für die Kompression erforderlich, da sich folglich die Menge an Fleisch erhöht, welche in die Bohrungen eingepresst werden kann. Somit muss mehr Fleisch komprimiert werden, wie aus Abbildung 47 ersichtlich wird (Anhänge 8-9).

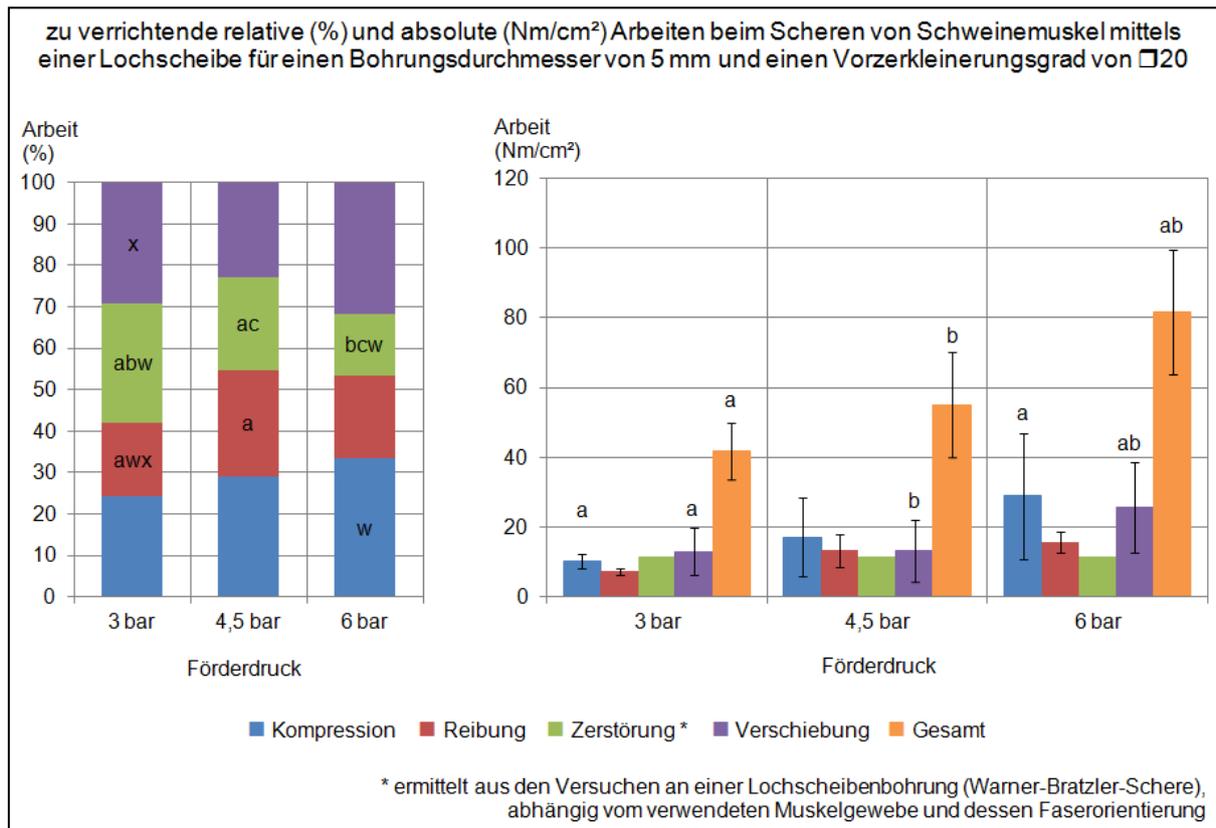


Abbildung 47: Einfluss des Förderdrucks auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe

(n = 10, a-c: Signifikanz zwischen Förderdrücken pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Förderdruck, $\alpha = 0,05$)

Die Reibungsarbeit erhöht sich tendenziell, wenn der Förderdruck steigt, da das Fleisch stärker an der Lochscheibe reibt, wenn sich dieses am bereits abgeschnittenen Fleisch vorbei bewegt.

Mit steigendem Förderdruck kommt es zu einer zunehmenden strukturellen Beanspruchung des Rohstoffes, infolge dessen signifikant weniger relative Arbeit für den eigentlichen Zerstörungsprozess aufgebracht werden muss.

Da mit zunehmendem Förderdruck mehr Fleisch in die Bohrungen einpresst wird, unterliegen immer mehr Muskelfasern einer Verschiebung. Da diese dem eigentlichen Scherprozess entgegen wirkt, muss demzufolge auch mehr absolute Verschiebungsarbeit aufgebracht werden, um den Schervorgang einzuleiten. Im Vergleich mit den prozentualen Werten kann jedoch kein Trend abgelesen werden.

In der Gesamtheit muss erwartungsgemäß bei zunehmendem Förderdruck von einem signifikant ansteigenden Energieaufwand ausgegangen werden.

Mit steigendem Förderdruck spielt die Kompressionsarbeit tendenziell eine größere Rolle als die Arbeiten, welche für die Reibung bzw. Zerstörung aufgebracht werden müssen. Bei mittleren Drücken von 4,5 bar sind die Teilarbeiten vergleichsweise ähnlich homogen verteilt.

4.2.2.4 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten vom Bohrungsdurchmesser

Der Bohrungsdurchmesser selbst hat nur bedingt Einfluss auf die zu verrichtenden Arbeiten, wie Tabelle 10 zeigt (Anhänge 8-13).

Tabelle 10: Einfluss des Bohrungsdurchmessers auf die relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Teilarbeiten beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe für einen Förderdruck von 3 bar bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$

Bohrungsdurchmesser	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Ver-schiebung
5 mm	24,38 ± 4,02	17,63 ± 3,10 ^{awx}	28,65 ± 5,04 ^w	29,33 ± 10,24 ^x
6 mm	21,33 ± 5,41	22,69 ± 4,15 ^b	28,67 ± 5,24	27,32 ± 12,69
7,8 mm	20,60 ± 5,33 ^w	31,42 ± 6,24 ^{abw}	25,77 ± 5,12	22,21 ± 13,38

Bohrungsdurchmesser	Arbeit (Nm/cm ²)				
	Kom-pression	Reibung	Zer-störung *	Ver-schiebung	Gesamt
5 mm	10,08 ± 2,16	7,13 ± 0,96	11,60	12,92 ± 6,90	41,73 ± 8,10
6 mm	8,75 ± 2,38	9,18 ± 5,89	11,60	12,17 ± 7,12	41,69 ± 7,63
7,8 mm	9,52 ± 3,08	14,14 ± 2,14	11,60	11,30 ± 7,76	46,55 ± 8,75

(* Konstante: ermittelt aus den Versuchen an einer Lochscheibenbohrung (Warner-Bratzler-Schere), abhängig vom verwendeten Muskelgewebe und dessen Faserorientierung, n = 10, a-b: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern pro Teilarbeit, w-x: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Bohrungsdurchmesser, $\alpha = 0,05$)

Einzig für die relative Reibungsarbeit können signifikante Unterschiede zwischen den Bohrungsdurchmessern herausgestellt werden, das heißt es liegt zunehmend mehr Reibungsarbeit vor, wenn der Bohrungsdurchmesser steigt. Fakt ist, dass bei gleichem Lochscheibendurchmesser ein steigender Bohrungsdurchmesser mit einer größeren offenen Bohrungsfläche einher geht, wie Tabelle 11 zeigt.

Tabelle 11: Charakterisierung der verwendeten Lochscheiben beim Scheren mittels einer Lochscheibe

Bohrungs- durchmesser	offene Bohrungen		
	Anzahl	Fläche (cm ²)	innere Gleitfläche (cm ²)
5 mm	52	10,21	65,35
6 mm	39	11,03	58,81
7,8 mm	23	11,56	46,24

Wie im Methodenteil beschrieben, wird die Reibungskraft beim Bewegen der Lochscheibe vorbei an dem gescherten Fleisch ermittelt. Da mit steigendem Bohrungsdurchmesser mehr Fleisch in die Bohrungen eintreten kann, steht auch mehr Fleischfläche zur Verfügung, an welcher die Lochscheibe vorbeigleiten muss und reiben kann.

Im Trend nehmen die Kompressions-, Zerstörungs- und Verschiebungsarbeit etwas ab, wenn sich der Bohrungsdurchmesser erhöht. Auch HAACK et al. (2003d) und HAACK und SCHNÄCKEL (2008a) zeigen dies in ihren Untersuchungen. Die Kompressions-, Zerstörungs- und Verschiebungsarbeit liegen auf vergleichsweise ähnlichem Niveau. Da gleichzeitig aber die Reibungsarbeit deutlich ansteigt, ist auch eine leichte Zunahme der Gesamtarbeit zu beobachten.

Die mit steigendem Bohrungsdurchmesser abnehmende gesamte Gleitfläche im Inneren der Bohrungen könnte gegebenenfalls die leichte Abnahme der für die Verschiebung erforderlichen Arbeit erklären. Die eingepressten Fleischzapfen könnten bei weniger Gleitfläche besser in den Bohrungen gehalten werden, so dass sie beim Abscheren weniger stark wieder aus den Bohrungen herausgezogen werden.

Bei zunehmendem Bohrungsdurchmesser und ansteigender offener Bohrungsfläche nahm der erforderliche Kraftaufwand zum Eindringen ab. Untersuchungen von KAMDEM und HARDY (1995a) zeigten ebenfalls, dass der Energiebedarf mit steigendem Bohrungsdurchmesser insgesamt abnahm.

4.2.2.5 Abhängigkeit der zu verrichtenden Teilarbeiten von der Tierart

Beim Scheren von Schweine- und Putenfleisch können signifikante Unterschiede bezüglich der erforderlichen Teilarbeiten verzeichnet werden, siehe Abbildung 48 (Anhänge 8-9 und 18-19).

Das Putenfleisch ist zarter und elastischer als Schweinefleisch, so dass signifikant die meiste Kompressionsarbeit erforderlich ist, zeigten auch KLETTNER et al. (2003) und MILAN (2011) mit ihren Untersuchungen.

Die relative Reibungsarbeit nimmt signifikant ab, wenn Putenfleisch geschert wird. Die weichere Textur von Putenfleisch erklärt auch den nur halb so hohen Anteil an Arbeit für die eigentliche Zerstörung wie bei Schweinefleisch.

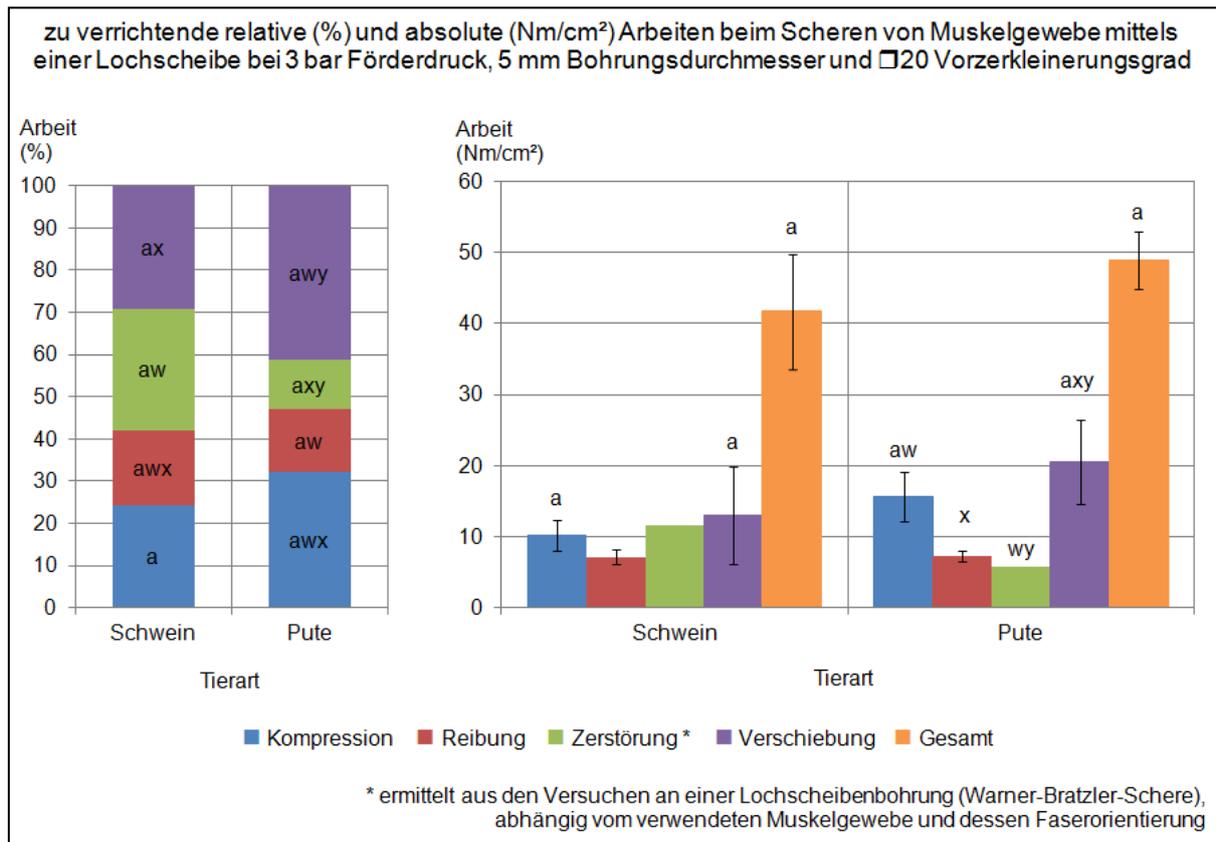


Abbildung 48: Einfluss der Tierart auf die Teilarbeiten beim Scheren mittels einer Lochscheibe

(Schwein = 10, Pute = 7, a: Signifikanz zwischen Tierarten pro Teilarbeit, w-y: Signifikanz zwischen Teilarbeiten pro Tierart, $\alpha = 0,05$)

Die Verschiebungsarbeit nimmt hingegen bei Putenfleisch durch dessen hohe Elastizität im Vergleich zu Schweinefleisch signifikant zu, da die Fleischzäpfchen wieder verstärkt Rückwärts aus den Bohrungen gezogen werden.

Für das Scheren von Putenfleisch muss, bedingt durch den größeren Anteil an Arbeit für Kompression und Verschiebung, signifikant mehr Gesamtarbeit aufgebracht werden als dies für Schweinefleisch der Fall ist.

Tendenziell ist zur Überwindung der Reibung durchschnittlich der geringste und für die Verschiebung der höchste Energieaufwand erforderlich, wenn Putenfleisch zerkleinert wird.

4.2.3 *Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern für einen 2-teiligen Schneidsatz*

Als Kenngröße der Zerkleinerungsleistung wurde die Zäpfchenlänge definiert.

4.2.3.1 Besonderheiten bei Zerkleinerungsvorgängen mit einem 2-teiligen Schneidsatz und deren Konsequenzen

Bei der Untersuchung der Zerkleinerungsvorgänge beim Scheren von Fleisch mit einem 2-teiligen Schneidsatz konnten vergleichbare „Durchfluss“-Beobachtungen wie an einer Lochscheibe (vergleiche Kapitel 4.2.2.1) registriert werden. Die Ursachen hierfür sind entsprechend analog.

In den Zerkleinerungsversuchen wurde als Konsequenz daraus nur dann ein Schervorgang, das heißt eine manuelle Messerrotation eingeleitet, um die Fleischzäpfchen abzuscheren, wenn kein Durchfluss stattfand. Die Abbildung 49 verdeutlicht dies im rechten Bild.

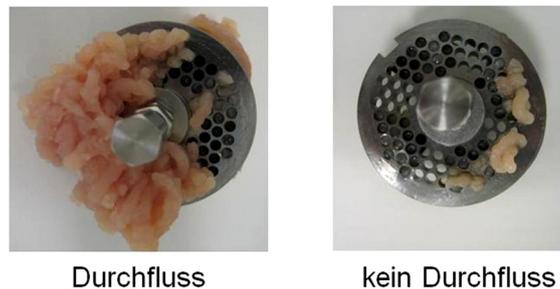


Abbildung 49: Relevante Situationen der Fleischzäpfchenbildung beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz (eigene Darstellung)

Anhand der synchron aufgezeichneten Druck-Zeit-Kurve wurde dann ein Durchfluss diagnostiziert, wenn der benötigte Zieldruck trotz stetiger Druckzufuhr nicht erreicht werden konnte. Dabei war unerheblich, ob alle Lochscheibenbohrungen mit Fleisch gefüllt waren, siehe Abbildung 49 links.

Aus der Abbildung 49 wird aber auch offensichtlich, dass die Fleischzäpfchen generell sehr unregelmäßig aus den Bohrungen austreten. Gründe für den inhomogenen Rohstoffdurchtritt wurden bereits beschrieben. Ein Durchfluss kann daher auch dann stattfinden, wenn nur bestimmte Bereiche der Lochscheibe für die Rohstoffzerkleinerung und die Fleischzäpfchenbildung verantwortlich zeichnen. Aus diesem Grund war die Druckkontrolle über einen PC als Kriterium für den Durchfluss unerlässlich.

Für die Ergebnisauswertung wurden insgesamt 10 Messungen, inklusive Durchflusssituationen, durchgeführt. Der Anteil an Proben, welche pro Versuchseinstellung einem Durchfluss unterlagen, ist in Tabelle 12 (Anhänge 21-23) sowie Tabelle 13 (Anhänge 24-28) dargestellt.

Tabelle 12: Anteil an Proben (%), welche beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von □20 einem Durchfluss unterlagen (n = 10)

Bohrungs- durchmesser	Förderdruck	Durchfluss (%)		
		Verarbeitungstemperatur		
		-4°C	0°C	4°C
3 mm	3 - 6 bar	0	0	0
6 mm	3 - 4,5 bar	0	0	0
	6 bar	0	10	0
7,8 mm	3 bar	0	0	0
	4,5 bar	0	10	0
	6 bar	0	20	10

Tabelle 13: Anteil an Proben (%), welche beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C einem Durchfluss unterlagen (n = 10)

Bohrungs- durchmesser	Förderdruck	Durchfluss (%)	
		Vorzerkleinerungsgrad	
		□20	○65_D40
3 mm	1,5 - 6 bar	0	0
4 mm	1,5 - 4,5 bar	0	0
	6 bar	100	0
5 mm	1,5 - 4,5 bar	0	0
	6 bar	100	100
6 mm	1,5 - 4,5 bar	0	0
	6 bar	100	100
7,8 mm	1,5 - 3 bar	0	0
	4,5 bar	100	0
	6 bar	100	100

4.2.3.2 Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Vorzerkleinerungsintensität

Der Vorzerkleinerungsgrad ist, ebenso wie der Förderdruck und der Bohrungsdurchmesser, von wesentlicher Bedeutung für das Eindringverhalten von Fleisch in

die Bohrungen der Lochscheibe bzw. beeinflusst die Ausbildung der spezifischen Zäpfchenlänge erheblich.

Aus einer intensiveren **Vorzerkleinerung**, das heißt geringeren Stückgrößen, resultieren dabei logischerweise signifikant längere Fleischzäpfchen.

Die Zäpfchenlänge erhöht sich tendenziell mit ansteigendem **Förderdruck**, wie aus Abbildung 50 (Anhang 24) ersichtlich wird. Durch die geringere Stückchengröße können sich die Fleishteilchen infolge des festen Messerschnitts leichter und tiefer in die Bohrungen hineindrücken und werden durch den höheren Druck dort auch besser festgehalten, wenn das Messer den rotatorischen Scherschnitt vollführt. Da der Förderdruck durch die Schneckendrehzahl bestimmt wird, muss demnach diese ansteigen. Dass längere Zäpfchen entstehen, ergo also der Durchsatz steigt, wenn sich die Schneckendrehzahl erhöht, konnten auch KAMDEM und HARDY (1995) zeigen.

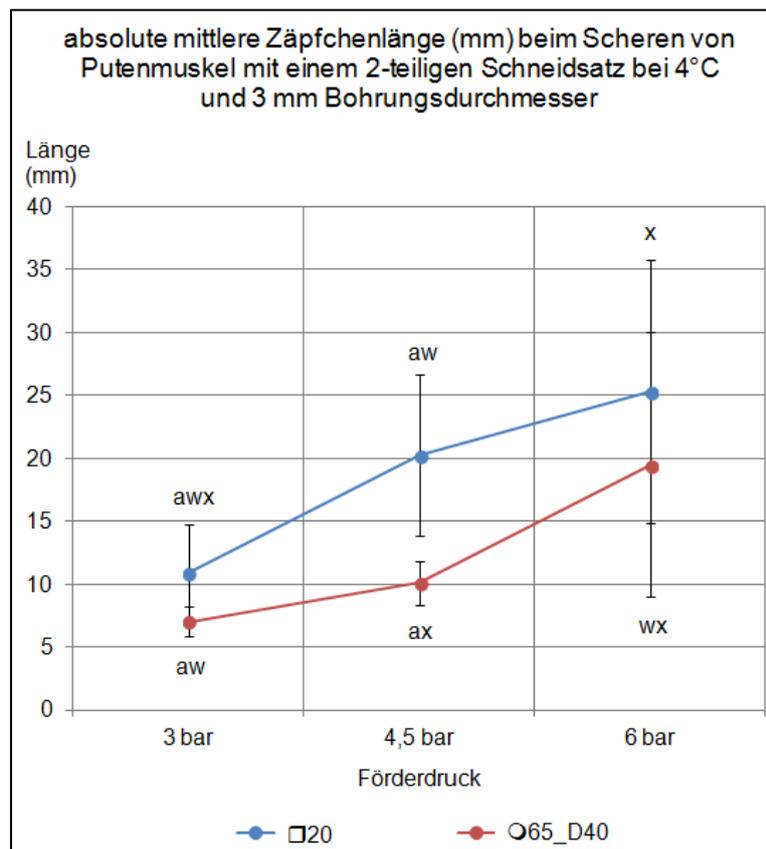


Abbildung 50: Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz

(n = 10, a: Signifikanz zwischen Vorzerkleinerungsintensitäten pro Förderdruck, w-x: Signifikanz zwischen Förderdrücken pro Vorzerkleinerungsintensität, $\alpha = 0,05$)

Ein größerer **Bohrungsdurchmesser**, siehe Abbildung 51 (Anhänge 24-28), fördert tendenziell die Ausbildung von längeren Fleischzäpfchen, da stärker vorzerkleinerte Rohstoffe einfacher in eine größere Öffnung einströmen können. KAMDEM und HARDY (1995) zeigen dies auch in ihren Versuchen.

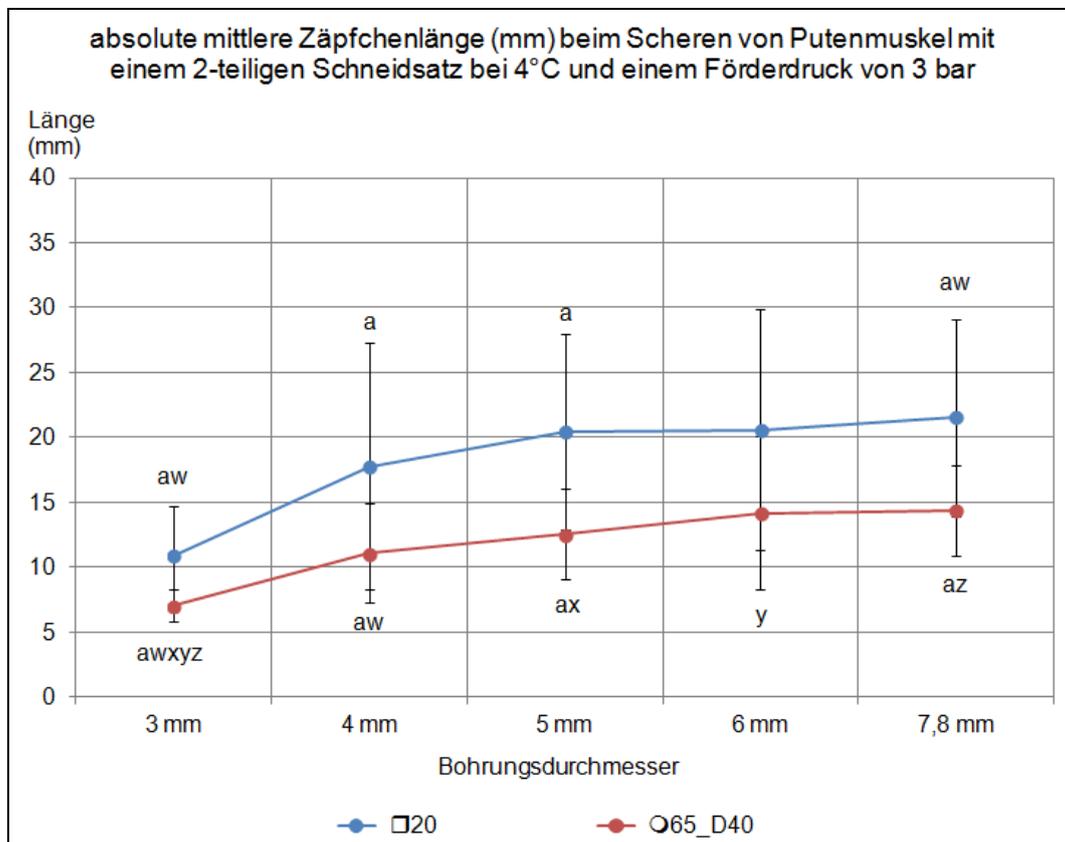


Abbildung 51: Einfluss der Vorzerkleinerungsintensität und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz

(n = 10, a: Signifikanz zwischen Vorzerkleinerungsintensitäten pro Bohrungsdurchmesser, w-z: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern pro Vorzerkleinerungsintensität, $\alpha = 0,05$)

Für einen realen Wolfprozess bedeutet dies, dass eine auf die jeweiligen Bohrungsdurchmesser der einzelnen Zerkleinerungsstufen abgestimmte Vorzerkleinerung einen höheren Rohstoffdurchsatz bedingt. Ermöglicht wird eine angepasste Vorzerkleinerungsintensität durch die Abstimmung der Schneidfolgen der Messer. Eine höhere Messerdrehzahl oder eine längere Scherkante ist hier von praktischer Relevanz. Da jedoch auch der Eintrag von Wärme durch Reibung beachtet werden muss, sind die Drehzahl bzw. Scherkantenlänge nicht ohne weiteres erhöhbar. Unter industriellen Bedingungen wird darauf reagiert, indem die Anzahl der Schneidsatzteile erhöht wird, um den Zerkleinerungseffekt zu intensivieren. Das heißt es werden nicht

3-stufige Schneidsätze genutzt sondern es wird eine stufenweise Zerkleinerung mit 5- oder 7-teiligen Schneidsätzen vorgenommen.

4.2.3.3 Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Verarbeitungstemperatur

Unter praktischen Gegebenheiten werden Fleischrohstoffe für verschiedene Anwendungsfälle bei unterschiedlichen Temperaturen verarbeitet. Die Verarbeitungstemperatur hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf das Deformations- und Fließverhalten (MUNRO, 1983; KERRY et al., 2005) und damit auf die Art und Weise, wie Fleisch in die Bohrungen eintritt und auf äußere Kräfte wie Druck reagiert. Zudem verändert sich bei verschiedenen Temperaturen die Homogenität der entstehenden Fleischzäpfchen, sprich die Größenunterschiede zwischen den Zäpfchen variieren mehr oder weniger (ANONYMOUS, 1980; SHEARD et al., 1989; ZHAO und SEBRANEK, 1997).

Erwartungsgemäß vermindert sich die Zäpfchenlänge signifikant, wenn die **Verarbeitungstemperatur** von 4 auf -4°C sinkt, wie aus der nachfolgenden Abbildung 52 ersichtlich wird (Anhang 29).

SHEARD et al. (1990 und 1991a) konnten vergleichbares feststellen. Die Unterschiede zwischen den Kühltemperaturen von 4 und 0°C sind nicht signifikant, da in beiden Fällen keine Eiskristalle vorliegen. MUNRO (1983) und KERRY et al. (2005) erklären dies mit einem eher plastoelastischen Zerkleinerungsverhalten, da Eiskristalle in der Fleischstruktur enthalten sind, infolge dessen die Deformierungsfähigkeit und damit das Eindringverhalten von Fleisch in die Bohrungen abnimmt.

Zwar bietet sich bei Einsatz eines höheren **Förderdrucks** die Chance, dass sich signifikant mehr Fleisch in die Bohrungen eindrückt, die große Gefahr besteht jedoch, dass der Rohstoff stärker geschädigt wird, zum Beispiel Quetschungen zunehmen und damit mehr Fleischsaftverlust entsteht. Die Qualität der so hergestellten zerkleinerten Rohstoffe und daraus hergestellter Erzeugnisse ist deutlich vermindert.

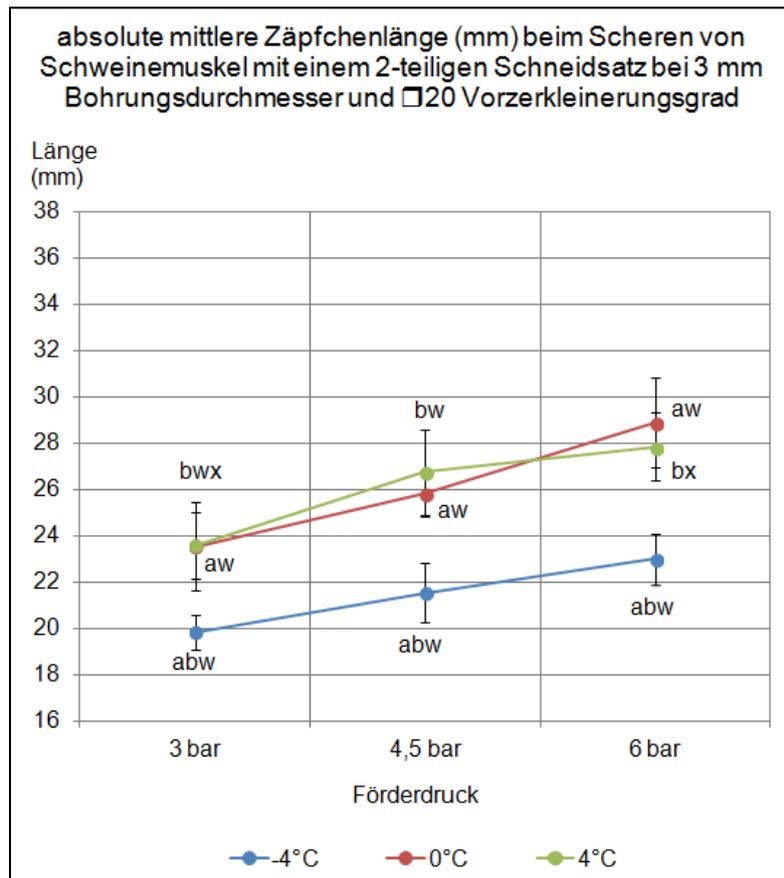


Abbildung 52: Einfluss der Verarbeitungstemperatur und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz

(n = 10, a-b: Signifikanz zwischen Verarbeitungstemperaturen pro Förderdruck, w-x: Signifikanz zwischen Förderdrücken pro Verarbeitungstemperatur, $\alpha = 0,05$)

Abbildung 53 (Anhänge 29-31) zeigt den Einfluss des **Bohrungsdurchmessers** bei variierenden Rohstofftemperaturen auf.

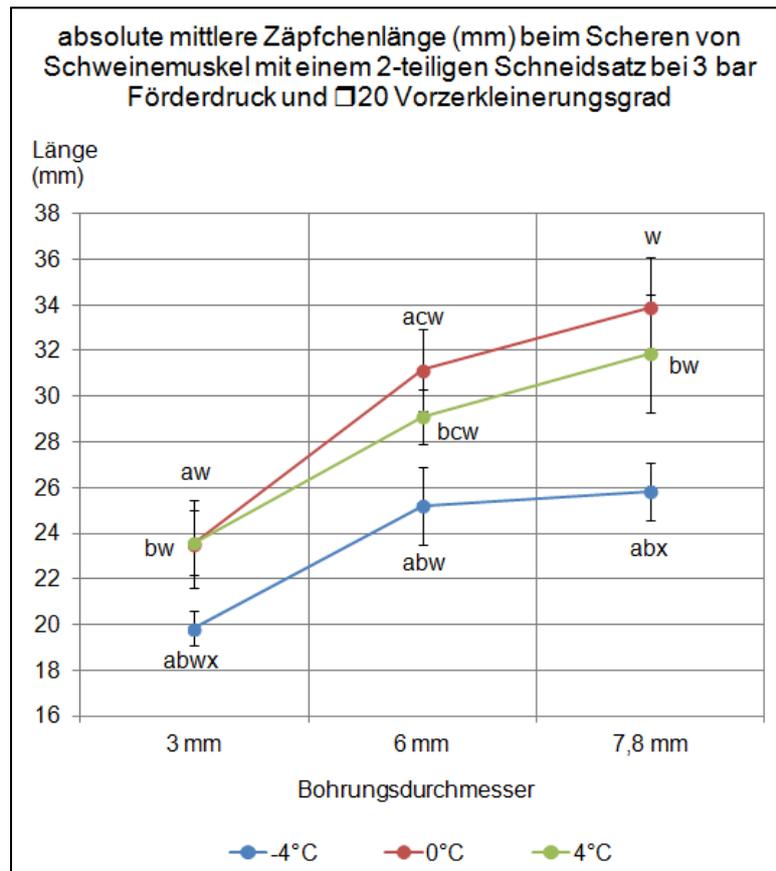


Abbildung 53: Einfluss der Verarbeitungstemperatur und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz

(n = 10, a-c: Signifikanz zwischen Verarbeitungstemperaturen pro Bohrungsdurchmesser, w-x: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern pro Verarbeitungstemperatur, $\alpha = 0,05$)

Steigt der Bohrungsdurchmesser, kann bei allen Verarbeitungstemperaturen von einer signifikanten Zunahme der Zäpfchenlänge ausgegangen werden. Bei einer Rohstofftemperatur von 0 und 4°C liegt ein vergleichbares Zerkleinerungsverhalten bei Verwendung einer Lochscheibe mit gleichem Bohrungsdurchmesser vor, da keine signifikanten Unterschiede in der Zäpfchenlänge festzustellen sind. Bei Einsatz von gefrorenem Fleisch nimmt die Zäpfchenlänge signifikant bei vergleichbarem Bohrungsdurchmesser ab.

4.2.3.4 Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung vom Bohrungsdurchmesser und Förderdruck

Die Ergebnisse aus Tabelle 14 (Anhänge 24-28) werden zur besseren Veranschaulichung nochmals grafisch in den Abbildungen 54 und 55 wiedergegeben.

Es wird deutlich, dass mit steigendem **Bohrungsdurchmesser** das Fleisch tiefer in die Bohrungen eintritt und damit die Zäpfchenlänge bei einem Förderdruck von 1,5 und 3 bar tendenziell zunimmt. KAMDEM und HARDY (1995) kamen in ihren Versuchen zu vergleichbaren Ergebnissen. Eine Zunahme der Zäpfchenlänge hängt auch ab von der inneren Gleitfläche in den Bohrungen. Die innere Gleitfläche (vergleiche Tabelle 5, Seite 73) nimmt mit steigendem Bohrungsdurchmesser deutlich ab. Infolge dessen nimmt die Kontaktfläche zwischen Fleisch und Metall in der Bohrung ab, was den Reibungswiderstand wesentlich verringern sollte. Damit kann das Fleisch besser durch die Bohrungen fließen.

Tabelle 14: Einfluss des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C und einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$

Bohrungs- durchmesser	Förderdruck		
	1,5 bar	3 bar	4,5 bar
3 mm	3,73 ± 0,47 ^{abcw}	10,86 ± 3,89 ^{aw}	20,24 ± 6,45 ^{abw}
4 mm	6,21 ± 0,56 ^{aw}	17,76 ± 9,51 ^x	40,59 ± 19,00 ^{awx}
5 mm	6,87 ± 1,47 ^{bw}	20,41 ± 7,56 ^w	34,46 ± 7,09 ^w
6 mm	6,92 ± 0,94 ^{cw}	20,57 ± 9,26 ^w	37,72 ± 18,77 ^{bw}
7,8 mm	8,04 ± 2,45 ^{aw}	21,51 ± 7,55 ^{aw}	Durchfluss

(n = 10, a-c: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern pro Förderdruck, w-x: Signifikanz zwischen Förderdrücken pro Bohrungsdurchmesser, $\alpha = 0,05$)

Bei einem **Förderdruck** von 4,5 bar verliert sich dieser Trend vermutlich durch den im Vergleich zum Bohrungsdurchmesser stärkeren Einfluss des Druckes auf das Einströmungsverhalten der Rohstoffe in die Bohrungen. Ab einer gewissen Bohrungsgröße in Kombination mit einem bestimmten Förderdruck kommt es aufgrund der Wirkung des festen Messerschnitts zu einem kontinuierlichen Durchfließen des Probenmaterials durch die Lochscheibe. Theoretisch müsste ab diesem Zeitpunkt kein rotatorischer Scherschnitt durchgeführt werden, um den Rohstoff zu zerkleinern. Praktisch ist jedoch eine Messerrotation erforderlich, um eine definierte produktspezifisch angepasste Zäpfchenlänge zu gewährleisten.

Der Förderdruck spielt eine entscheidende Rolle beim Aufbau der zur Faserzerstörung erforderlichen Zerstörungsenergie. Mit steigendem Druck erhöht sich überwiegend signifikant die Zäpfchenlänge, vergleiche auch KAMDEM und HARDY (1995). Diese Entwicklung verläuft jedoch nicht proportional. Die Zunahme der Zäpfchenlänge folgt offensichtlich einer druckspezifischen logarithmischen Kurve, wie die Ergebnisse in Abbildung 55 bzw. Tabelle 14 (Anhänge 24-28) dokumentieren.

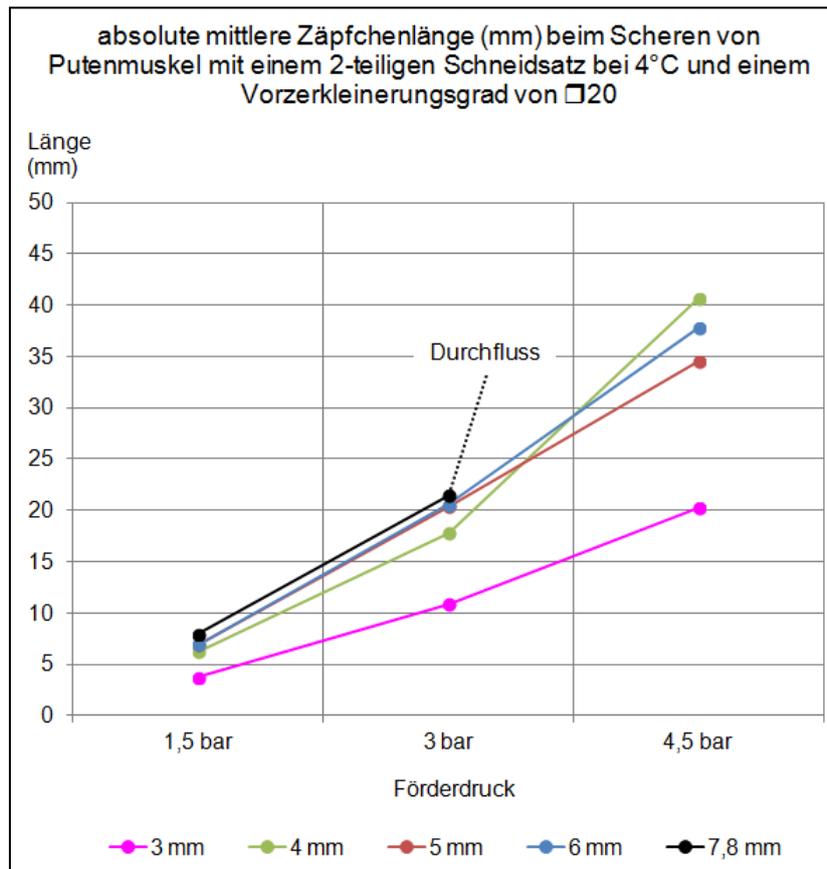


Abbildung 54: Einfluss des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz (n = 10)

Bei größer werdendem **Bohrungsdurchmesser** ist die Bohrungsfläche zu groß für den anliegenden Förderdruck. Pro Fläche liegt weniger Druck vor, so dass es zu einer Druckentspannung in der Bohrung kommt. Die für den Rohstofftransport notwendige Schubkraft geht damit verloren. Infolgedessen kommt es zu einer Abnahme des Rohstofftransports in die Bohrung und es steht weniger Rohstoff zur Zäpfchenbildung zur Verfügung. Des Weiteren kann der Effekt der druckspezifischen Ausbildung der Zäpfchenlänge auch damit in Zusammenhang stehen, dass zwar der Bohrungsdurchmesser bei gleichem Lochscheibendurchmesser zunimmt, die offene Bohrungsfläche aber nicht, wie Tabelle 5 auf Seite 73 veranschaulicht. Im vorliegenden Fall weist die Lochscheibe mit 3 mm Bohrungsdurchmesser eine deutlich höhere offene Fläche auf als die Lochscheiben mit 4, 5, 6 bzw. 7,8 mm Bohrungsdurchmesser. Deren offene Bohrungsflächen sind vergleichsweise ähnlich.

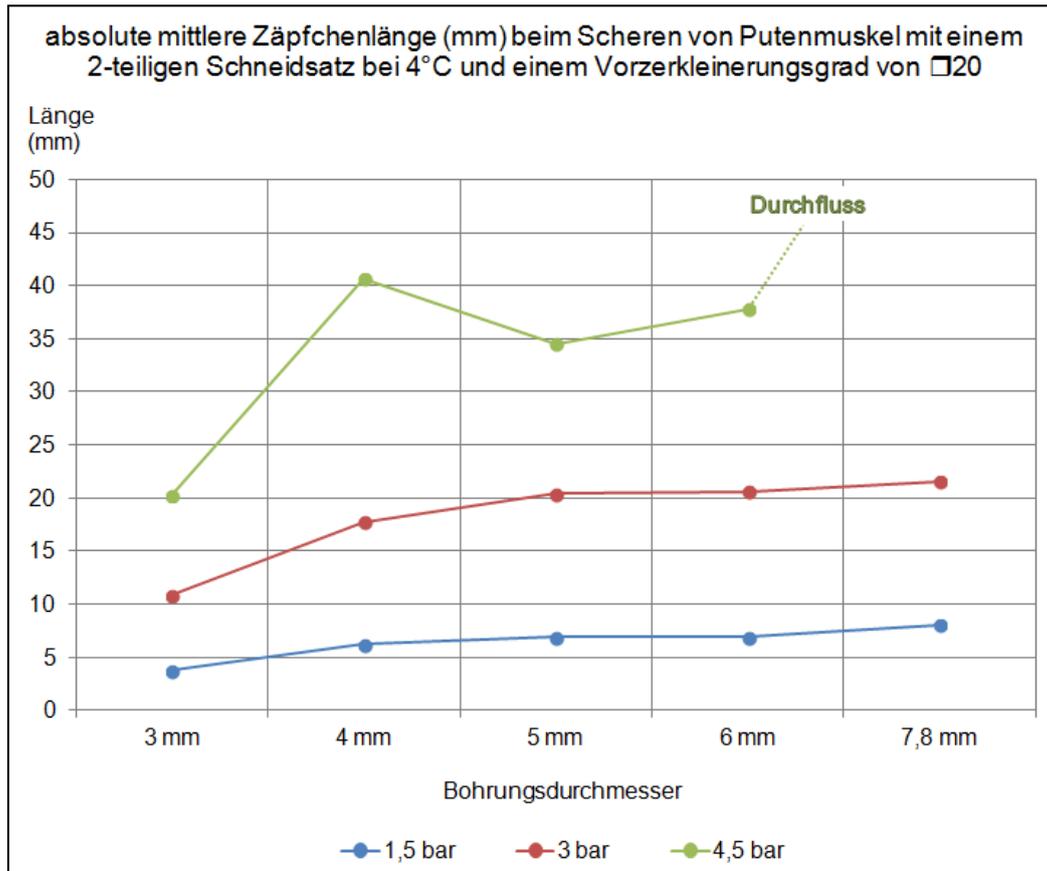


Abbildung 55: Einfluss des Förderdrucks und des Bohrungsdurchmessers auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer ($n = 10$)

4.2.3.5 Abhängigkeit der Zerkleinerungsleistung von der Tierart

Der Abbildung 56 (Anhänge 24, 27-28 und 29-31) ist zu entnehmen, dass ab einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm eine größere Zäpfchenlänge beim Wolfen von Schweinefleisch erzielt wird als für Putenfleisch. Erwartungsgemäß steigt mit höherem Förderdruck die Länge der Fleischzäpfchen an.

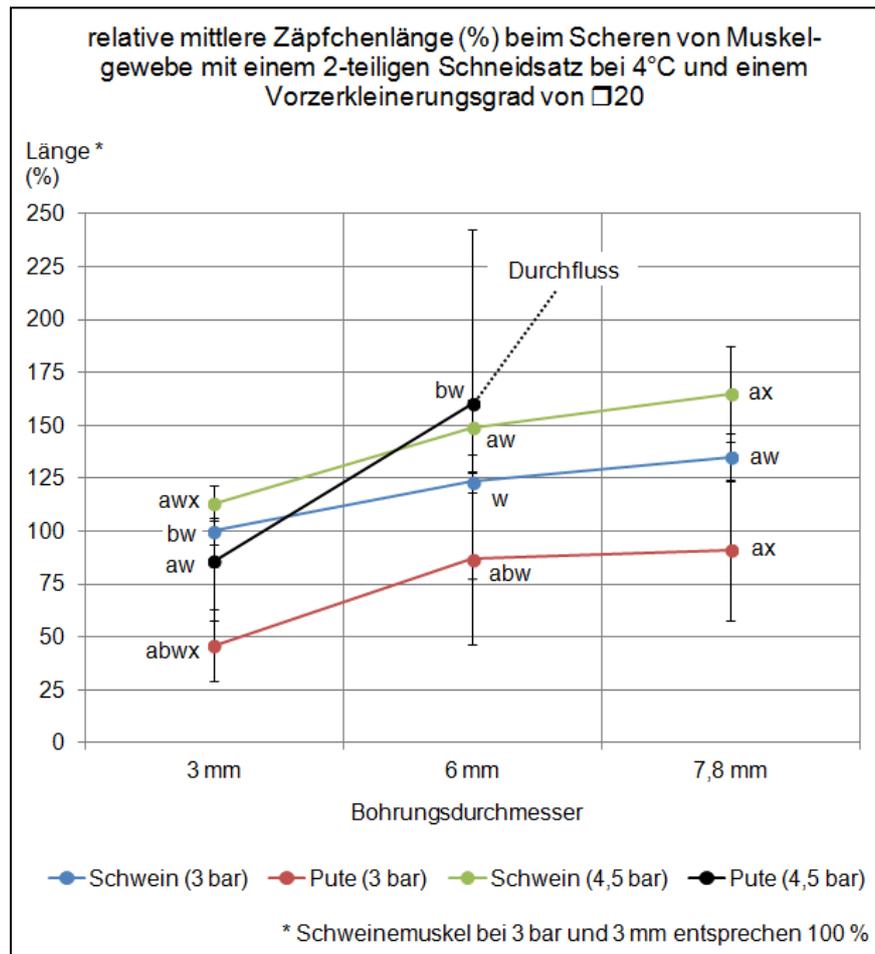


Abbildung 56: Einfluss der Tierart, des Bohrungsdurchmessers und des Förderdrucks auf die Zäpfchenlänge beim Scheren mit einem 2-teiligen Schneidsatz

(n = 10, a-b: Signifikanz zwischen Tierarten bzw. Förderdrücken pro Bohrungsdurchmesser, w-x: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern pro Tierart bzw. Förderdruck, $\alpha = 0,05$)

Ab einem bestimmten Verhältnis von Förderdruck zu Bohrungsdurchmesser kommt es für Putenfleisch zu dem schon vorab beschriebenen Durchfluss der Rohstoffe durch die Bohrungen der Lochscheibe.

Das aus dem Verwollen von Putenmuskelgewebe eine geringere Zäpfchenlänge als für Schweinefleisch resultiert, könnte mit dessen höherer Elastizität in Zusammenhang stehen. Das Fleisch drückt sich nur langsam in die Bohrungsöffnungen hinein, da mehr Arbeit für die vollständige Komprimierung aufgebracht werden muss. Aufgrund der nachfolgenden Messerrotation wird das noch nicht vollständig komprimierte Fleisch wieder verstärkt aus den Bohrungen herausgezogen. Dies konnte auch durch die Ergebnisse beim Scheren mittels einer Lochscheibe herausgearbeitet werden (vergleiche Abbildung 48, Seite 119). Putenfleisch bedurfte hier gegenüber Schweinefleisch sehr hoher Aufwendungen für die Verschiebung des Rohstoffes

während des Abschervorgangs. Die höhere Zartheit und größere Elastizität von Putenfleisch sowie der damit in Zusammenhang stehende erhöhte Kraftaufwand für die Verarbeitung wurde auch in den Untersuchungen von KLETTNER et al. (2003) und MILAN (2011) deutlich.

Aus den Ergebnissen lässt sich insgesamt ableiten, dass ein höherer Förderdruck zu einer stärkeren Komprimierung und damit zu einer Zunahme der Zäpfchenlänge führen kann. Bei Nutzung einer langsameren Messerdrehzahl erhält der Rohstoff mehr Zeit, um sich vollständig in die Bohrungen einzurücken. Damit wird Abscheren verbessert und die Zäpfchenlänge nimmt zu.

4.3 Versuchsserien des 1. Technikumsversuchs – Ableitung von Anforderungen an die Werkzeuge sowie von verarbeitungsrelevanten Anforderungen

Generelle Anmerkung für alle Versuchsserien der 3 durchgeführten Technikumversuche mit dem Feinbrätautomaten bzw. Kutter

Die **pH-Werte** der verarbeiteten Rohstoffsortimente (Anhang 32) entsprachen den mittleren pH-Werten für Fleisch- und Fettgewebe entsprechender anatomischer Herkunft: S II = $5,75 \pm 0,21$, S IV = $6,49 \pm 0,34$ und S VI = $6,22 \pm 0,28$. Schweinemuskelfleisch guter Qualität weist zum Beispiel einen End-pH-Wert nach der Reifung von 5,5 bis 6 auf (SEIDLER et al., 1984; PRÄNDL et al., 1988; BRANSCHIED et al. 1998; BAUMGARTNER, 2001).

Die pH_{1h}-Werte der hergestellten Wurstbräte von $5,74 \pm 0,12$ (Anhang 33) lagen leicht unter den Aufführungen von BRANSCHIED et al. (1998), welche für rohes Brühwurstbrät einen pH-Wert von 5,8 bis 6,1 angaben. Abweichende Rohstoffspezifikationen könnten die Ursache hierfür sein.

Die pH_{24h}-Werte der erhitzten und gekühlten Bockwürste stimmten mit durchschnittlich $5,92 (\pm 0,11)$, siehe Anhang 33, mit praxisüblichen pH-Werten überein. Diese werden zwischen 5,6 und 6,2 angegeben (BLOUKAS and HONIKEL, 1992; BAUMGARTNER, 2001; KRÖCKEL, 2008; N.N., 2012C).

4.3.1 Werkzeuganforderungen – Bestimmung des Bohrungsdurchmessers der Endlochscheibe im Emulgiersatz

In den Tabellen 15 und 16 sind die Ergebnisse dargestellt, welche für die Auswahl einer optimalen Endlochscheibe im Emulgiersatz herangezogen wurden. Es wurden insgesamt 14 Einzelversuche durchgeführt.

Im Vergleich mit der bewerteten **sensorischen Qualität** der hergestellten Bockwürste in Tabelle 15 (Anhang 34) wird deutlich, dass akzeptable Produktqualitäten erzielt werden können, wenn Endlochscheiben mit einem Bohrungsdurchmesser von 1,5 sowie 2 mm Einsatz finden. Die erbrachte Zerkleinerungsleistung ist ausreichend, wie die Beschreibung der Zusammensetzung der Bockwurst durch ein geschultes Panel im Rahmen der Sensorik bestätigt. Das Brät wird als typisch beschrieben. Es ist ausreichend zerkleinert und von feiner bis mittelfeiner Struktur ohne grobe Bestandteile.

Tabelle 15: Einfluss des Bohrungsdurchmessers der Endlochscheibe im Emulgiersatz auf die sensorische Qualität der Bockwurst (Kaltverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten hergestellten Wurstbrät

Bohrungsdurchmesser End-LS Emulgiersatz	sensorische Qualitätsparameter	
0,8 mm	Zusammensetzung	zu starke Zerkleinerung (zu fein)
	Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> •mangelhafte Konsistenz (kein Biss) •mangelhafte Bindung (zu kurz)
	→ visuelle Beobachtung während der Versuche: sehr schnelle Versehnung der Lochscheibe	
1,5 mm	Zusammensetzung	Zerkleinerung typisch (fein, keine groben Bestandteile)
	Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> •Konsistenz typisch (sehr gut im Biss, fest) •Bindung typisch (sehr gut)
2 mm	Zusammensetzung	ausreichende Zerkleinerung (mittelfein, keine groben Bestandteile)
	Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> •nicht ausreichende Konsistenz (etwas zu wenig Biss) •nicht ausreichende Bindung (etwas zu kurz)
3 mm	Zusammensetzung	nicht ausreichende Zerkleinerung (mittelfein bis grob, teilweise grobe Bestandteile)
	Konsistenz	<ul style="list-style-type: none"> •nicht ausreichende Konsistenz (etwas zu wenig Biss) •nicht ausreichende Bindung (bröckelig)

(gemittelte Bewertung aus den Einzelversuchen der Konsensprüfung)

Die Ergebnisse in Tabelle 16 (Anhang 35) zur **Emulsionsstabilität** und zum **Wasserbindevermögen** zeigen bei einem Bohrungsdurchmesser von 1,5 sowie 2 mm die signifikant höchsten Werte auf, was auf eine gute Stabilität der hergestellten Brä-

temulsion schließen lässt. Die Ergebnisse der sensorischen Bewertung untermauern dies, da den Bockwürsten eine typische Konsistenz mit sehr gutem Biss und eine sehr gute Bindung bescheinigt werden.

Tabelle 16: Einfluss des Bohrungsdurchmessers der Endlochscheibe im Emulgiersatz auf technologische Eigenschaften von mit dem Feinbräutomaten hergestelltem Wurstbrät

Bohrungsdurchmesser End-LS	Temperaturdifferenz (vor zu nach Emulgierung, K)	ES (%)	WBV (%)
0,8 mm	15,25 ± 0,91 ^{ab}	86,50 ± 0,65 ^a	50,14 ± 0,88 ^{ab}
1,5 mm	9,08 ± 0,94 ^a	92,85 ± 0,49 ^a	54,92 ± 0,95 ^b
2 mm	11,64 ± 1,31 ^{ac}	91,58 ± 0,59 ^a	56,21 ± 0,64 ^{bc}
3 mm	9,96 ± 1,02 ^{bc}	88,19 ± 0,80 ^a	52,98 ± 1,06 ^{ac}

(a-c: Signifikanz zwischen Bohrungsdurchmessern, $\alpha = 0,05$)

Sinkt der Bohrungsdurchmesser auf 0,8 mm ab, weisen sowohl das erzeugte Wurstbrät als auch die daraus hergestellten Bockwürste eine zu geringe Bindung, vergleichbar mit einem „Überkutterungseffektes“, auf. Die hier signifikant höhere Temperaturdifferenz, siehe Tabelle 16, weist darauf hin, dass zu viel Energie, das heißt zu viel Reibung und damit Wärme, bei der Zerkleinerung in das Wurstbrät eingebracht wurde. Es ist zu vermuten, dass durch den kleineren Bohrungsdurchmesser das zerkleinerte Brät schlechter aus dem Emulgiersatz abfließen konnte und in den Wirkungsbereich der schnell rotierenden Wolfmesser zurückstaute. Dort wurde es erneut dem Zerkleinerungsprozess und dem Reibungseintrag unterworfen. Durch den zu intensiven Energieeintrag kommt es zu einer Überbeanspruchung des Wurstbrätes und zu einer auch sensorisch beanstandeten zu starken Zerkleinerung, wobei ein zu feines Brät entsteht. Infolge dessen nehmen die Emulsionsstabilität und das Wasserbindevermögen signifikant ab, so dass die Bockwurst eine mangelhafte Bindung (zu kurz) sowie eine Konsistenz ohne ausreichend Biss aufweist.

Bei einer Endlochscheibe mit einem größeren Bohrungsdurchmesser von 3 mm ist die Zerkleinerungsintensität alles in allem noch nicht ausreichend, wie die Ergebnisse der sensorischen Bewertung zeigen. Die Zusammensetzung der Wurst zeigt aufgrund einer ungenügenden Zerkleinerung ein mittelfeines bis grobes Brät mit teilweise groben Bestandteilen. Die Emulsionsstabilität und das Wasserbindevermögen sind durch die noch nicht abgeschlossene Bildung einer stabilen Brättemulsion signifikant geringer als bei einem Bohrungsdurchmesser von 1,5 oder 2 mm. Dadurch ist der Biss noch nicht ausgeprägt genug und die Konsistenz ist infolge einer mangelhaften Bindung bröckelig. Eine Erhöhung der Messerdrehzahl könnte hier möglicherweise zu einer besseren Feinheit des Wurstbrätes und zu einer stabileren Brättemulsion führen, da bei gleichzeitig höherer Zerkleinerungsleistung mehr Energie in

Form von Reibungswärme in das Brät eingearbeitet werden kann. Dass noch Potential bezüglich der Zufuhr an Reibungswärme besteht, offenbart die vergleichsweise geringe Temperaturdifferenz.

Als Ergebnis der Voruntersuchungen wurde für die weiteren Technikumversuche die Endlochscheibe mit einem Bohrungsdurchmesser von 1,5 mm verwendet.

4.3.2 Verarbeitungsrelevante Anforderungen – Verhältnis von Rohstoffvorschub zur Messerwellendrehzahl

Es wurden insgesamt 20 Einzelversuche durchgeführt, wobei nach der sensorischen Bewertung zwei Gruppen gebildet wurden, in welche eine nachfolgende Einteilung der technologischen Eigenschaften sowie der Texturkennwerte der hergestellten Wurstbräte und Bockwürste erfolgte. Es wurden 9 Versuche der Gruppe „sensorisch gute Qualität“ und 11 Versuche der Gruppe „sensorisch schlechte Qualität“ zugeordnet. Diese Einteilung wurde herangezogen, um nachfolgend die mathematische Abhängigkeit der verarbeitungstechnologisch relevanten Verarbeitungsbedingungen Rohstoffvorschub in der Feinverwolfung und MWDZ im Emulgiersatz sowie deren Einfluss auf die Brät- und Erzeugnisqualität herauszustellen.

Die Abbildung 57 (Anhang 36) zeigt die herausgearbeitete mathematische Abhängigkeit von Vorschub und MWDZ in Form einer Kennlinie für die bezüglich der sensorischen Qualität optimierten Verarbeitungsbedingungen. Anscheinend gibt es für die Herstellung einer guten sensorischen Produktqualität eine direkte lineare Abhängigkeit zwischen dem Vorschub und der MWDZ.

Logischerweise erfordert ein höherer Vorschub eine höhere MWDZ, um ein feines Wurstbrät mit guter Bindung herzustellen. Infolge dessen nimmt der Rohstoffdurchsatz, also die Kapazität der Anlage, zu. Wenn das Verhältnis von Vorschub und MWDZ also korrekt durch die definierte Kennlinie beschrieben wird, sollten die entsprechenden sensorischen und technologischen Eigenschaften sowie die Texturkennwerte der Wurstbräte bzw. Bockwürste vergleichbar sein. Dieser These wurde nachgegangen und versucht, über die Bewertung der Brät- und Erzeugnisqualität, eine entsprechende mathematische Abhängigkeit in Form eines Verhältnisses von Vorschub in der Feinverwolfung zu MWDZ im Emulgiersatz abzuleiten.

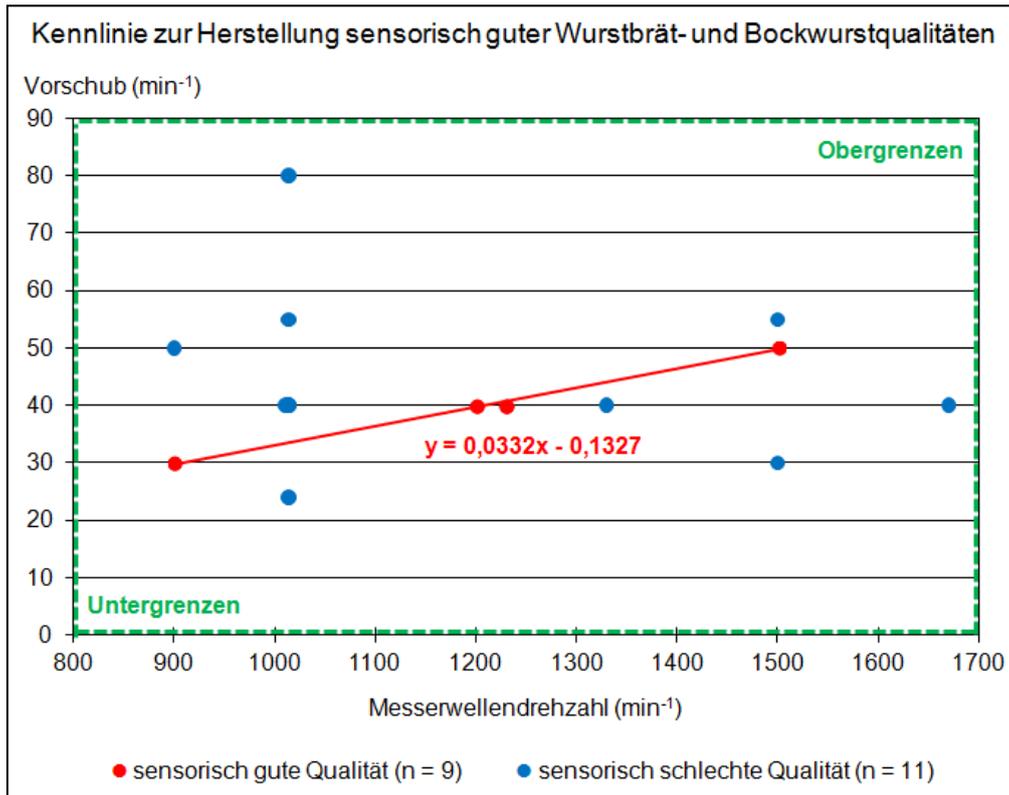


Abbildung 57: Definierte Unter- und Obergrenzen für den Vorschub und die Messerwellendrehzahl sowie die abgeleitete Kennlinie für sensorisch gute Qualitäten

Die Bockwürste sensorisch guter und schlechter Qualität weisen im Mittel keine signifikanten Unterschiede im **Gesamtwassergehalt** (gut 56,95 % ± 3,18 %; schlecht 54,24 % ± 5,15 %) bzw. **Fettgehalt** in der Probe (gut 28,16 % ± 1,04 %; schlecht 28,49 % ± 1,57 %) auf (Anhang 37). Dies bestätigt, dass qualitative Veränderungen nicht durch Inhomogenitäten im Rohstoff sondern allein durch die Veränderung der technologischen Verarbeitungsparameter hervorgerufen werden.

Die Ergebnisse der **sensorischen Prüfung** sind in der nachfolgenden Tabelle 17 (Anhänge 38-39) verzeichnet.

Sensorisch besser bewertete Varianten unterscheiden sich farblich (Anhang 40) von der sensorisch schlechteren Qualität dahingehend, dass das Wurstbrät in seiner **Farbe** einen signifikant geringeren Gelbanteil enthält (gut 17,53 ± 1,04; schlecht 18,01 ± 0,72), dafür die Bockwurst aber einen signifikant höheren Rotton aufweist (gut 9,45 ± 0,69; schlecht 8,62 ± 1,46). Bei der sensorischen Qualitätsprüfung werden jedoch keine erkennbaren Farbunterschiede verzeichnet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Farbabstand ΔE mit 1,05 für Wurstbrät und mit 1,02 für Bockwurst nur geringfügig über dem von farbsensiblen Menschen wahrnehmbaren Unterschied von 1 liegt (N.N., 2011e).

Tabelle 17: Bewertung der sensorischen Qualität der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbrät

Qualität	Aussehen, Farbe, Zusammensetzung	
	Kaltverkostung	Warmverkostung
sensorisch gut (n = 9)	typisch → homogenes und mittelfeines bis feines Brät	typisch → homogenes und mittelfeines bis feines Brät
sensorisch schlecht (n = 11)	<ul style="list-style-type: none"> •Zerkleinerung ungenügend → inhomogenes und grobes Brät •Zerkleinerung zu stark → homogenes und sehr feines Brät 	<ul style="list-style-type: none"> •Zerkleinerung ungenügend → inhomogenes und grobes Brät •Zerkleinerung zu stark → homogenes und sehr feines Brät •teilweise feuchte Schnittfläche

Qualität	Konsistenz	
	Kaltverkostung	Warmverkostung
sensorisch gut (n = 9)	typisch → sehr gute Brätbindung und fester knackiger Biss	typisch → sehr gute Brätbindung und fester knackiger Biss
sensorisch schlecht (n = 11)	<ul style="list-style-type: none"> •ungenügende Brätbindung •zu weich und kein Biss 	<ul style="list-style-type: none"> •ungenügende Brätbindung •zu weich und kein Biss •teilweise kurzes Brät •teilweise wässriges Brät

(gemittelte Bewertung aus den Einzelversuchen der Konsensprüfung)

In der Tabelle 18 (Anhänge 41-42) werden die technologischen Eigenschaften ES und WBV sowie die Texturkennwerte aus dem Scherversuch bzw. der Penetrationsmessung aufgezeigt.

Sowohl in kaltem als auch warmen Zustand zeigen die sensorisch als gut eingruppierten Bockwürste ein typisch homogenes und mittelfeines bis feines Brät auf. Die signifikant höhere **Emulsionsstabilität** sowie die wesentlich bessere Einbindung des Wassers in die Bockwurst lassen den Schluss zu, dass die **Textur** fester und die Brätbindung besser ist. Dies wird durch die Ergebnisse der sensorischen Prüfung (sehr gute Brätbindung sowie fester knackiger Biss) und durch die technologischen Eigenschaften der untersuchten Wurstbräte und Erzeugnisse bestätigt (signifikant höhere maximale Scherkraft).

Sensorisch schlechter bewertete Bockwürste zeigen ein ungenügendes bzw. zu stark zerkleinertes Brät, das in warmem Zustand auch teilweise zur Ausbildung einer feuchten Schnittfläche neigt. Dies ist durch die nicht ausreichende und damit signifikant deutlich geringere **Wasserbindungsfähigkeit** begründet. Auch die signifikant geringere Emulsionsstabilität fördert den Wasseraustritt. Begleitet werden die un-

günstigen Zerkleinerungsergebnisse von einer nicht ausreichenden Brätbindung, infolge dessen der Biss weich, kurz und wässrig wird. Die maximale Scherkraft sinkt signifikant ab.

Tabelle 18: Technologische Eigenschaften und Texturkennwerte der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte bzw. der daraus hergestellten Bockwürste für sensorisch gute und schlechte Qualitäten

Qualität	ES (%) Wurstbrät	WBV (%)	
		Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch gut (n = 9)	97,91 ± 0,40 ^a	57,63 ± 1,24	47,07 ± 3,28 ^a
sensorisch schlecht (n = 11)	96,85 ± 0,83 ^a	57,01 ± 2,01	39,77 ± 5,70 ^a

Qualität	Scherversuch Bockwurst		Penetrationshärte (N/m ²)	
	maximale Scherkraft (kN/m ²)	Scherarbeit (kNm/m ²)	Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch gut (n = 9)	20,16 ± 2,12 ^a	0,33 ± 0,03	1350,5 ± 236,0 ^a	7414,8 ± 983,5
sensorisch schlecht (n = 11)	18,86 ± 2,47 ^a	0,31 ± 0,04	1148,1 ± 257,4 ^a	7448,2 ± 693,8

(a: Signifikanz zwischen sensorischen Qualitäten, $\alpha = 0,05$)

Der mittlere **Druck** des auf 3 mm vorzerkleinerten Brätes aller hergestellten Qualitäten, siehe Anhang 43, liegt vor Eintritt in den Emulgiersatz bei 1,56 bar ± 0,51 bar. Der Druck der sensorisch guten Bockwürste (1,67 bar ± 0,52 bar) ist dabei signifikant höher als bei den Varianten mit schlechteren sensorischen Eigenschaften (1,41 bar ± 0,50 bar). Der Druck aller Varianten rangiert dessen ungeachtet deutlich unter dem durch HAACK et. al (2003d) oder HAACK und SCHNÄCKEL (2008b) angegebenen Druckbereich von 3 bis 8 bar während der Fleischverwolfung.

Die gewählten Verarbeitungsbedingungen sowie die Ergebnisse aus den Grundlagenversuchen bestätigen insgesamt den Vorteil geringerer Verarbeitungsdrücke. Während der Feinbrätherstellung findet eine sehr schonende Verarbeitung ohne eine Rohstoffquetschung (geringe Kompressionsarbeit) bei gleichzeitig guter Schnittqualität (geringe Reibungs- und hohe Zerkleinerungsarbeit) statt, so dass als Ergebnis ein feinstzerkleinertes Brät (kleine Zäpfchenlänge) hergestellt werden kann. Die Ergebnisse der sensorischen Bewertung sowie der technologischen Eigenschaften ES und WBV bestätigen dies. Geringe Drücke lassen zudem eine wesentlich energieschonendere Verarbeitung zu (geringe Gesamtarbeit).

Im Ergebnis der Versuche konnte ein mathematischer Zusammenhang von Vorschub und MWDZ für die Herstellung guter sensorischer Produktqualitäten identifiziert werden, vergleiche Abbildung 57. Dabei hat sich für die Produktion von Bockwurst ein Verhältnis von Vorschub zu MWDZ von 1:30 als günstig bei der Herstellung einer technologisch und sensorisch guten Erzeugnisqualität heraus kristallisiert.

4.4 Versuchsserien des 2. Technikumsversuchs – Untersuchung der Oxidationsstabilität von Bockwürsten im Vergleich der Verarbeitungstechniken *Feinbrätautomat* und *Kutter* zur Herstellung von *Wurstbrät*

In Tabelle 19 (Anhang 44) sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Gehalt an Fettoxidationsprodukten, bewertet als **TBARS**, dargestellt.

Tabelle 19: TBARS-Gehalt (mg MDA pro kg) als Indikator für die Oxidationsstabilität von Bockwurst im Vergleich der Verarbeitungstechniken *Feinbrätautomat* und *Kutter* über die Lagerzeit

Verarbeitungstechnik		TBARS (mg MDA/kg) über die Lagerzeit			
Feinbrätautomat	MWDZ (min ⁻¹)	24 h	14 d	28 d	42 d
	900	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	1200	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	1500	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Kutter	2500	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Es wird ersichtlich, dass das neue Verfahren zur Herstellung von Bockwurst (*Feinbrätautomat*) keine nachteiligen Veränderungen bezüglich der Oxidationsstabilität von Fett hervorruft. Die TBARS-Werte liegen jeweils unterhalb der Nachweisgrenze von 0,05 mg MDA/kg Probe. Dies widerspricht in positivem Sinne der aufgestellten These, dass es durch eine intensivere Zerkleinerung zu einer größeren Oberfläche und damit zu einem verstärkten oxydativen Fettverderb kommt. Die Erzeugnisqualität unterscheidet sich auch dann nicht signifikant von dem klassischen Standardverfahren *Kuttern*, wenn deutlich mehr Energie eingetragen bzw. die Zerkleinerung intensiviert wird, indem die Messerwellendrehzahl steigt.

Einen entsprechend vergleichbaren positiven Effekt, dass sich der MDA-Gehalt über die Lagerzeit nicht verändert, konnten NIELSEN et al. (1997) für gegarte Erzeugnisse aus gewolfem Schweinefleisch sowie AHN et al. (1998) für vakuumverpackte Brühwurst aus Schweinefleisch und -fett zeigen. Alle Autoren konnten eine hohe bzw. höhere Oxidationsstabilität nachweisen, wenn feinzerkleinerte Erzeugnisse gegart und gelagert wurden. Dass Erhitzungsprozesse einen Einfluss auf den TBARS-Gehalt nehmen, zeigten LADIKOS et al. (1990) und PEARSON et al. (1997). Sie konnten

nachweisen, dass bei Temperaturen von 70-80°C die MDA-Werte als Indikator unverändert bleiben bzw. absinken. Während des Brühvorgangs der eigenen hergestellten Bockwürste wurden Temperaturen von ca. 76°C erzielt. Scheinbar konnten damit vergleichbare, haltbarkeitsverlängernde Effekte erzielt werden.

Einen Einfluss auf den Gehalt an TBARS nimmt der bei der Herstellung von Brühwürsten übliche Zusatz von NPS. PIETTE et al. (1999) und TIRONI et al. (2002) weisen darauf hin, dass die Möglichkeit besteht, dass durch die Reaktionsfreudigkeit des als Leitsubstanz ausgewählten MDA mit anderen Lebensmittelinhaltsstoffen (Proteinen, Phospholipiden und Nukleinsäuren) und infolge der Instabilität von Malonaldehyd (SHAHIDI, 2004), der wirkliche Gehalt an MDA im Produkt verfälscht wird. Das Malonaldehyd kann unter anderem mit dem Nitrit aus dem zugesetzten NPS reagieren. Es ist zudem bekannt, dass Nitrit eine antioxidative Wirkung hat. Die Fettoxidation zum Beispiel von frischem zerkleinertem Fleisch oder von gegarten gepökelten Wurstwaren vermindert bzw. verlangsamt sich signifikant, wenn der Anteil an Nitrit zunimmt. Ab etwa 20 mg Nitrit/kg Fleisch (ROSENBAUER, 2002) unterstützt Nitrit positiv die Stabilität von Fett gegenüber Oxidationsvorgängen. (TICHIVANGANA et al., 1985; CLAUS et al., 1995; PIETTE et al., 1999; ROSENBAUER, 2002)

In den eigenen Untersuchungen wurde bei Zusatz von 2 % NPS ein Nitritgehalt von umgerechnet 5 g/kg Brätmasse erzielt (NPS = 0,4-0,5 % Nitrit und 99,5-99,6 % Kochsalz). Ob dieser Anteil bereits ausreicht, um die Fettoxidation und damit die Bildung von MDA hinaus zu zögern, kann nicht endgültig geklärt werden. Insgesamt wirkt sich aber ein NPS-Zusatz, unabhängig von der verwendeten Verarbeitungstechnik, positiv auf die Qualität der hergestellten Erzeugnisse und deren Haltbarkeit aus. Die Kombination mit einem Erhitzungsverfahren unterstützt die Erhöhung der Haltbarkeit durch Verhinderung bzw. Verminderung der Fettoxidation.

Der TBARS-Gehalt wird auch durch den Einsatz von Gewürzen beeinflusst. Während der Kühlagerung von zerkleinertem gegartem und/oder rohem Rind- und Schweinefleisch sind zum Beispiel Curry, Kümmel, Majoran (EL-ALIM et al., 1999) oder Cayenne Pfeffer (OLORUNSANYA et al., 2009) in der Lage, aufgrund ihrer antioxidativ wirkenden Inhaltsstoffe, den TBARS-Gehalt vergleichsweise stabil zu halten. Inwieweit eine handelstypische Bockwurstgewürzmischung, wie sie im vorliegenden Einsatzfall Anwendung fand, antioxidativ wirksame Inhaltsstoffe enthält, bleibt offen. Vor allem bei der Erzeugung von Bioprodukten, welche ohne oder mit weniger NPS hergestellt werden, kommt der antioxidativen Wirkung von Gewürzen bei gleichzeitiger Farbgebung eine größere Bedeutung zu.

Die Art und Weise, wie das Erzeugnis während der Kühlagerung gelagert wurde, nimmt ebenfalls Einfluss auf den Anteil an MDA. Bei der Kühlagerung von rohen oder erhitzten zerkleinerten Fleischerzeugnissen unter Vakuum kann zum Teil der Effekt verzeichnet werden, dass sich die TBARS-Werte über eine Lagerung von 2 bis 4 Wochen nicht signifikant verändern (FERNÁNDEZ-ESPLÁ et al., 1993; ROSENBAUER, 2002; PETTERSEN et al., 2004) oder sogar ein leichter Rückgang zu verzeichnen ist (ANDREO et al., 2003). Damit ist die gewählte Form der Lagerung im vorliegenden

Fall (kühl und unter Vakuum) vorteilhaft für die Haltbarkeit und Qualität der Würste, unabhängig von der Verarbeitungstechnik.

Ein Einfluss auf den TBARS-Gehalt durch einen unterschiedlich hohen **Fettgehalt** kann aufgrund der nicht vorhandenen Signifikanz ausgeschlossen werden, wie aus Tabelle 25 auf Seite 150 ersichtlich wird.

Die Ergebnisse der **sensorischen Bewertung** der Bockwurstqualität über die Lagerzeit können der Tabelle 20 auf Seite 143 entnommen werden. Bei der durchgeführten Warmverkostung standen Veränderungen im Geruch und Geschmack im Vordergrund, da Fettveränderungen hier zu negativen Abweichungen führen können.

Im Geruch und Geschmack sind bis zu einer Lagerzeit von 42 Tagen keine Unterschiede für die mit dem Feinbrätautomaten bei 900 und 1200 min⁻¹ hergestellten Würste wahrnehmbar. Bei einer höheren Messerwellendrehzahl im Feinbrätautomat von 1500 min⁻¹ bzw. bei Einsatz der Standardtechnik Kutter können erst nach 42 Lagertagen leichte geschmackliche Veränderungen hinsichtlich einer „fehlenden Frische“ bzw. eines etwas „alt“ schmeckenden Abgangs festgestellt werden.

Die nachteiligen geschmacklichen Veränderungen könnten zumindest für die mit dem Kutter hergestellten Bockwürste darin begründet sein, dass der **pH-Wert** nach 42 Lagertagen (Anhang 45) mit 0,14 pH-Einheiten im Vergleich zum pH_{24h} am stärksten absinkt und signifikant am geringsten ist ($5,91 \pm 0,01$). Innerhalb der Varianten des Feinbrätautomaten liegen jedoch keine signifikanten Unterschiede vor.

Die Abwesenheit eines sensorisch wahrnehmbaren ranzigen Geruchs und Geschmacks deutet darauf hin, dass keine Fettoxidation stattgefunden hat, wie auch die Ergebnisse zum MDA-Gehalt untermauern. Ein ranziger Geruch und Geschmack können nach Auffassung vieler Autoren durch geschulte Prüfer erst ab einer Konzentration von 0,6 bis 1 mg MDA/kg wahrgenommen werden. Die meisten Personen bemerken hingegen erst ab 2 mg MDA/kg einen ranzigen Eindruck. (IGENE et al., 1979; LANARI et al., 1995; CANNON et al., 1995 und 1996; ROSENBAUER, 2002; NITSCH, 2009; WOLFSCHMIDT, 2010)

Es muss jedoch beachtet werden, dass ein gleicher Gehalt an TBARS für unterschiedliche Fette nicht zwangsläufig zu einem identischen sensorischen Ergebnis führt (PARDUN, 1976; ROSENBAUER, 2002).

Neben der Messerwellendrehzahl ist auch der **Druck** der vorzerkleinerten Rohstoffe vor der Emulgierung im Feinbrätautomaten, vergleiche dazu auch Tabelle 22, von Bedeutung für die hergestellte Zerkleinerungsqualität und nimmt damit Einfluss auf die Haltbarkeit. Der Druck im Feinbrätautomaten unterscheidet sich zwar signifikant zwischen allen drei Varianten. Im Mittel liegt er aber auf einem relativ niedrigen Niveau von 2,25 bar \pm 0,38 bar. Der geringe Druck führt scheinbar zu keinen nachteiligen Veränderungen der Brätqualität (kein Quetschen, wenig Reibung, gute Schnittqualität), so dass die Haltbarkeit und sensorische Qualität der Bockwürste davon nicht nachteilig beeinträchtigt werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass über die Lagerzeit für keine der verwendeten Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter eine Fettoxidation in den hergestellten Bockwürsten stattgefunden hat.

4.5 Versuchsserien des 3. Technikumsversuchs – Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter zur Herstellung von Wurstbrät bezüglich der sensorischen und ernährungsphysiologischen Qualität der erzeugten Bockwürste

Veränderungen in der sensorischen und ernährungsphysiologischen Qualität können durch Oxidationsprozesse hervorgerufen werden. Diese bewirken eine Zerstörung von Vitaminen, führen zu einer Absenkung des Nährwertes durch Veränderung der Eiweiße (einschließlich von Myoglobin und Hämoglobin), senken die Haltbarkeit und verändern auch die sensorische Qualität nachteilig, wie durch farbliche Reaktionen oder die Verschlechterung des Geschmacks (KANNER, 1994; GRAY et al., 1996; WOLFSCHMIDT, 2010). Durch die Oxidation von Eiweißen und Fetten entsteht auch der Qualitätsfehler „Aufwärmgeschmack“ von zubereiteten Erzeugnissen (NEUBURG et al., 1980; EL-ALIM, 1999; NITSCH, 2009).

4.5.1 Vergleich der sensorischen Qualität

In der nachfolgenden Tabelle 20 sind nur die Ergebnisse der sensorischen Prüfung über die Lagerzeit von 42 Tagen dargestellt. Es war zu erwarten, dass im Rahmen einer Warmverkostung Unterschiede zwischen den Varianten stärker hervortraten, zudem ist dies die gebräuchlichste Verzehrform für Bockwürste.

Im Fokus der sensorischen Bewertung standen Veränderungen im Aussehen, der Farbe und Zusammensetzung sowie in der Konsistenz der erzeugten Bockwürste, um die Einflüsse der einzelnen Verarbeitungstechniken einander gegenüberstellen zu können. Nachfolgend wird ein Vergleich der sensorischen mit den technologischen Eigenschaften nach einer 24-stündigen Lagerung vorgenommen.

Tabelle 20: Bewertung der sensorischen Qualität der erzeugten Bockwürste (Warmverkostung) über die Lagerzeit im Rahmen der Konsensprüfung im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter

Verarbeitungs-technik		Aussehen, Farbe und Zusammensetzung	Konsistenz	Geruch und Geschmack	
Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)	Lagerzeit 24 h bis 42 d	Lagerzeit 24 h bis 42 d	Lagerzeit 24 h bis 28 d	Lagerzeit 42 d
	900	<ul style="list-style-type: none"> •Farbe typisch •Zerkleinerung etwas ungleichmäßig → inhomogenes und mittelfeines Brät •feuchte Schnittfläche 	typisch → gute Bindung und knackiger Biss	typisch → fleischig und frisch	typisch → fleischig und frisch
	1200	<ul style="list-style-type: none"> •Farbe typisch •typisch → homogenes und feines Brät •etwas feuchte Schnittfläche 	<ul style="list-style-type: none"> •typisch → sehr gute Bindung und fester knackiger Biss •saftig 	typisch → fleischig und frisch	typisch → fleischig und frisch
	1500	<ul style="list-style-type: none"> •Farbe typisch •typisch → homogenes und sehr feines Brät 	<ul style="list-style-type: none"> •typisch → gute Bindung aber etwas weich im Biss •etwas fettig 	typisch → fleischig und frisch	<ul style="list-style-type: none"> •im Abgang etwas alt •fehlende Frische
Kutter	2500	<ul style="list-style-type: none"> •Farbe typisch (etwas weniger intensiv) •Zerkleinerung ungleichmäßig → inhomogenes und mittelgrobes Brät •Zerkleinerung zu grob für „Feine Brühwurst“ → aber typisch für „Grobe Brühwurst“ •etwas feuchte Schnittfläche 	<ul style="list-style-type: none"> •typisch → sehr gute Bindung und fester knackiger Biss •saftig 	typisch → fleischig und frisch	<ul style="list-style-type: none"> •fehlende Frische •etwa metallisch

Bei Einsatz des Feinbräutomaten erhöht sich erwartungsgemäß die Zerkleinerungsintensität mit steigender MWDZ. Die Zerkleinerung wird gleichmäßiger und das

Brät wird homogener sowie feiner. Das etwas feuchte Schnittbild der Bockwurst geht zunehmend verloren. Dies begründet sich in dem signifikant ansteigenden **Wasserbindevermögen** der hergestellten Bockwurst mit höherer MWDZ, wie Tabelle 21 (Anhang 46) zeigt. Die höheren Drehzahlen führen zu einem verstärkten Eintrag von Zerkleinerungsleistung, so dass mehr Muskelzellen zerstört und mehr Eiweiße freigesetzt werden. Dies und der erhöhte Eintrag an Energie, das heißt Reibungswärme, führen dazu, dass eine stärkere Wassereinbindung vorliegt und das Brät nach der ersten thermischen Behandlung während des Brühens stabiler wird.

Tabelle 21: Wasserbindevermögen (%) der hergestellten Wurstbräte sowie der daraus erzeugten Bockwürste nach 24 Stunden Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter

Verarbeitungstechnik		WBV (%)	
Feinbrätautomat	MWDZ (min ⁻¹)	Wurstbrät	Bockwurst
	900	56,26 ± 0,00 ^{ab}	40,79 ± 0,99 ^{cd}
	1200	58,26 ± 0,00 ^b	42,87 ± 0,31 ^{ab}
	1500	57,91 ± 0,00 ^a	47,79 ± 0,54 ^{ac}
Kutter	2500	58,99 ± 0,01 ^a	51,40 ± 1,64 ^{bd}

(a-d: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Bei Verwendung des Kutters kann, trotz höchster MWDZ, keine so hohe Feinheit in der Zerkleinerung erzielt werden. Als Abschaltkriterium wurde eine Brätendtemperatur von 12°C (Ist-Wert 12,2°C ± 0,4°C) festgelegt, da das zugesetzte Kutterhilfsmittel (mit Citrat) nur bis zu dieser Temperatur ein optimales Ergebnis erzielen konnte. Die etwas feuchte Schnittfläche ist trotz der signifikant höchsten Wasserbindung nach der ersten thermischen Behandlung im Vergleich zum Feinbrätautomaten auf die weniger intensive Zerkleinerung und den damit einhergehenden geringeren Aufschluss der Muskelfasern zurückzuführen. Bei einer nachfolgenden zweiten Erwärmung im Rahmen der sensorischen Verkostung kann das Wasser insgesamt weniger eingebunden werden und tritt an der Schnittfläche aus.

Im Bezug auf die **Emulsionsstabilität** können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verarbeitungstechniken festgestellt werden. Die Emulsionsstabilität ist jeweils exzellent und liegt zwischen 97,70 und 97,93 % (Anhang 46).

Bemerkenswert ist, dass die **Brätendtemperatur** im Feinbrätautomaten bei einer MWDZ von 1500 min⁻¹ weit über (23,1°C ± 0,2°C) und andererseits bei einer MWDZ von 900 min⁻¹ deutlich unter (9,6°C ± 0,2°C) den für die Brühwurstbrätherstellung im Kutter empfohlenen Temperaturen von 12 bis 15°C liegt (FELBER und JAKOB, 1987; HAMMER, 1992; JAKOB, 2005b; BRANSCHIED et al., 2007b). Auch die Endtemperatur bei einer MWDZ von 1200 min⁻¹ rangiert mit 15,3°C (± 0,3°C) oberhalb der beim Ein-

satz von KHM mit Citrat gängigen Temperaturobergrenze von 12°C. Trotz dieser starken Temperaturabweichungen können sensorisch qualitative hochwertige Erzeugnisse auch mit dem Feinbräutomaten hergestellt werden. Die Brätendtemperaturen unterscheiden sich dabei signifikant zwischen allen Varianten des Feinbräutomaten auch im Vergleich mit der Standardtechnik Kutter, siehe Tabelle 22 (Anhang 47).

Tabelle 22: Temperaturdifferenz (K) und Druck (bar) bei der Herstellung von Wurstbrät im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter

Verarbeitungstechnik		Temperaturdifferenz (vor zu nach Emulgierung, K)	Druck (vor Eintritt in die Emulgierstufe, bar)
Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)		
	900	7,5 ± 0,2 ^a	2,24 ± 0,29 ^a
	1200	12,5 ± 0,3 ^a	2,50 ± 0,18 ^a
	1500	20,8 ± 0,2 ^a	2,06 ± 0,12 ^a
Kutter	2500	11,1 ± 0,5 ^a	keine Messung

(a: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Der **Druck** der vorzerkleinerten Rohstoffe vor Eintritt in die Emulgierstufe des Feinbräutomaten liegt laut Tabelle 22 auf einem sehr geringen und relativ konstanten Niveau für alle untersuchten MWDZ, wie auch die Abbildung zur Druckentwicklung in Anhang 48 veranschaulicht. Der Druck verändert sich signifikant, jedoch auf vergleichsweise geringem Level. Dies wurde erwartet, da laut der herausgearbeiteten Verarbeitungskennlinie (Abbildung 57, Seite 136) jeweils ein gleiches Verhältnis von Vorschub zu MWDZ eingehalten wurde. Mit steigender MWDZ nimmt demzufolge auch der Vorschub zu. Es kann davon ausgegangen werden, dass die geringen Druckschwankungen zu keinen ausschlaggebenden Veränderungen der Verarbeitungseigenschaften der hergestellten Wurstbräte und der daraus erzeugten Bockwürste bei den unterschiedlichen Verarbeitungsbedingungen im Feinbräutomaten führen.

Alle hergestellten Bockwürste weisen in der Warmverkostung eine typische Konsistenz auf. Dies ist auf eine gute Bindung zurück zu führen, so dass ein knackiger Biss die Folge war. Die Ergebnisse des **Scherversuchs** für die maximale Schneidkraft und die Schneidarbeit in Abbildung 58 (Anhang 49) wird deutlich, dass die Festigkeit der erzeugten Bockwürste tendenziell zunimmt und mehr Arbeit zum Kauen aufgebracht werden muss, wenn sich die MWDZ bei Einsatz des Feinbräutomaten erhöht. Sensorisch wird dies durch das Panel dennoch nicht bestätigt, da bei einer MWDZ von 1500 min⁻¹ ein etwas weicherer Biss festgestellt wird. Das hergestellte sehr feine Brät wird aber auch als etwas fettig beschrieben, so dass die Vermutung nahe liegt, dass das Fett beim Scherversuch einen stärkeren Klebeeffekt der Probe

am Werkzeug hervorrief, was die höheren notwendigen Kräfte für die Probenzerkleinerung erklären könnte.

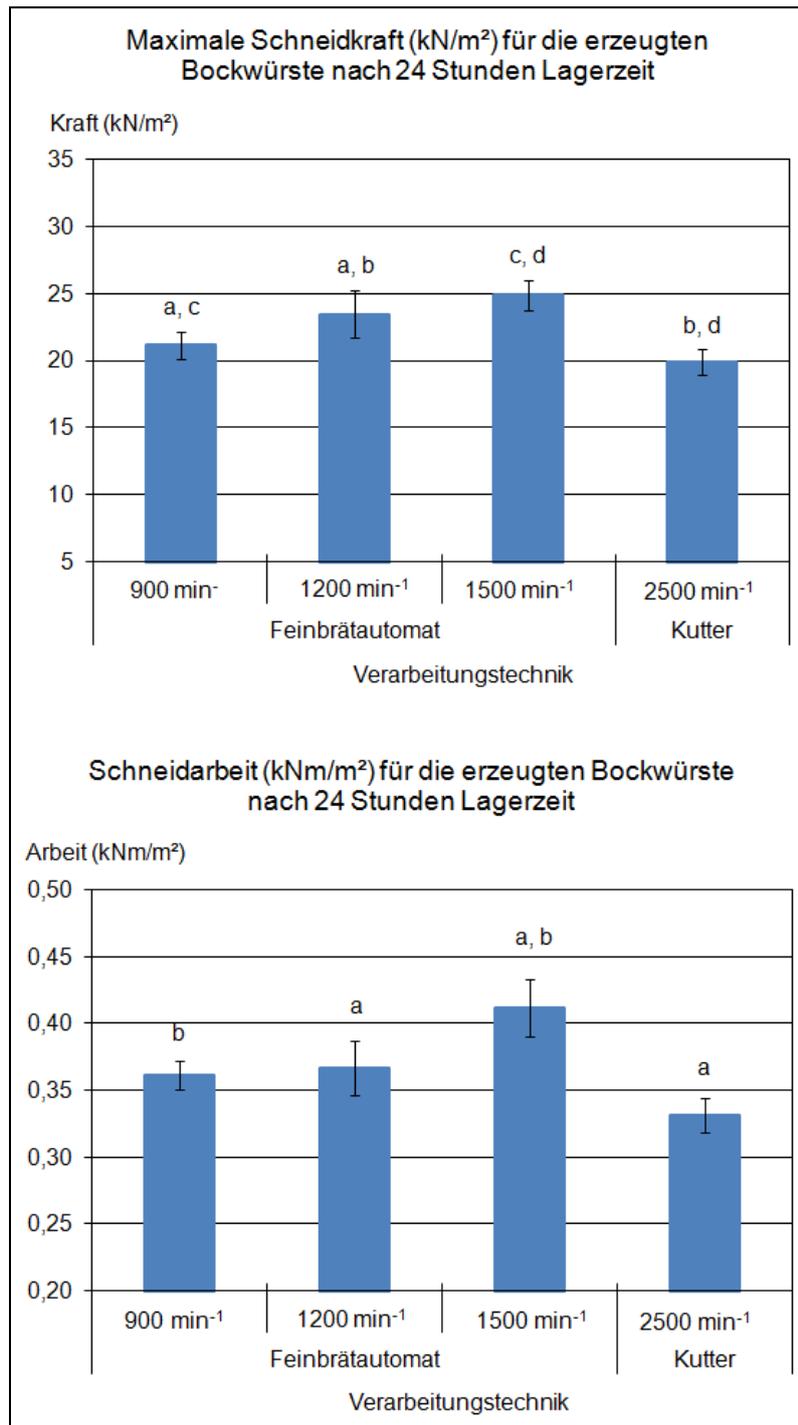


Abbildung 58: Kennwerte des Scherversuchs im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter

(a-d: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Die mittels der Standardtechnik Kutter hergestellten Bockwürste tendieren zu einer geringeren Festigkeit. Dies steht nicht prinzipiell im Widerspruch zum sensorischen Eindruck eines festen Bisses. Hierfür könnten die gröberen Bestandteile verantwortlich sein, welche einen höheren Beißwiderstand hervorrufen, beim Scherversuch aber nur bedingt durch das Schermesser erfasst werden.

Die Ergebnisse der **Penetrationsmessung**, siehe Tabelle 23 (Anhang 49), zeigen zum Teil gegenläufige Trends. Das mit dem Kutter hergestellte Wurstbrät ist signifikant fester als das der Varianten des Feinbrätautomaten. Dessen ungeachtet können keine signifikanten Unterschiede zwischen den daraus hergestellten Bockwürsten abgeleitet werden. Die sensorischen Ergebnisse bestätigen die Tendenz aus der Penetrationsmessung, dass die Bockwürste bei einer MWDZ von 1500 min^{-1} im Feinbrätautomaten weicher sind.

Tabelle 23: Penetrationshärte (N/m^2) der hergestellten Wurstbräte sowie der daraus erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter

Verarbeitungstechnik		PH (N/m^2)	
Feinbrätautomat	MWDZ (min^{-1})	Wurstbrät	Bockwurst
	900	$949,5 \pm 60,5^{ab}$	$7821,5 \pm 666,2$
	1200	$1183,6 \pm 25,4^a$	$7381,5 \pm 418,0$
	1500	$1147,8 \pm 61,6^{bc}$	$6911,6 \pm 389,6$
Kutter	2500	$1411,6 \pm 66,5^{ac}$	$7243,8 \pm 552,7$

(a-c: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Die gemessenen **Farbkennwerte** L, a und b für die hergestellten Bockwürste sind in Tabelle 24 (Anhang 50) dargestellt.

Tabelle 24: Farbkennwerte L, a und b der erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter

Verarbeitungstechnik		L	+a	+b
Feinbrät- automat	MWDZ (min^{-1})	(Helligkeit)	(Rotton)	(Gelbton)
	900	$60,46 \pm 0,22^{ab}$	$11,60 \pm 0,34^b$	$14,14 \pm 0,26$
	1200	$62,41 \pm 0,77^a$	$10,66 \pm 0,47^a$	$14,55 \pm 0,60$
	1500	$62,93 \pm 0,19^{bc}$	$10,90 \pm 0,20^c$	$14,59 \pm 0,16$
Kutter	2500	$64,69 \pm 0,96^{ac}$	$10,03 \pm 0,46^{abc}$	$13,93 \pm 0,36$

(a-c: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Bei der sensorischen Bewertung können durch das Panel keine visuellen Farbabweichungen zwischen den Varianten des Feinbräutomaten festgestellt werden. Die Bockwürste, hergestellt im Kutter, erscheinen etwas weniger farbintensiv, aber dennoch typisch. Die Farbe aller Bockwürste wird als typisch bewertet, da gewisse Farbabweichungen toleriert werden, wenn sie noch charakteristisch für das Erzeugnis Bockwurst sind, siehe Abbildung 59.

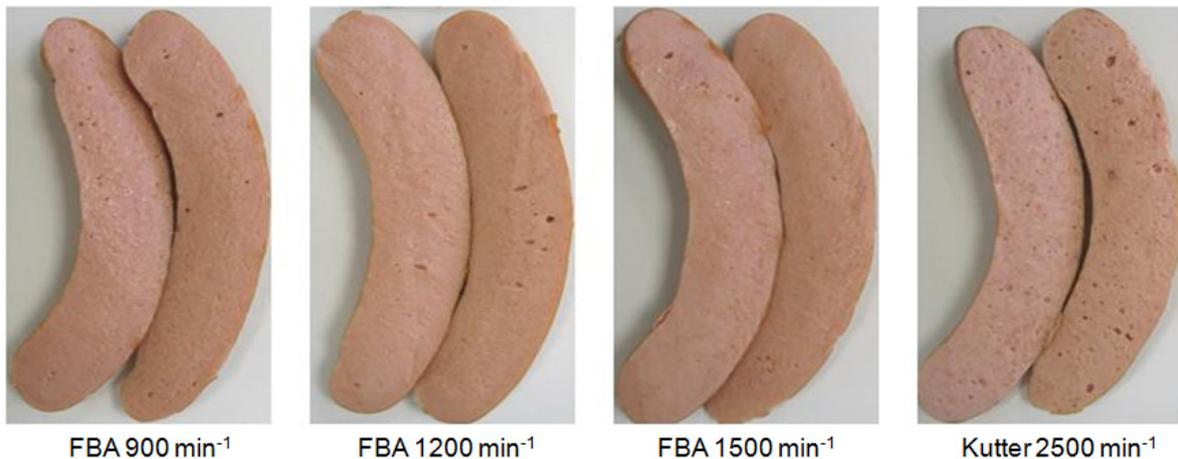


Abbildung 59: Bockwürste der Warmverkostung nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat und Kutter (eigene Darstellung)

Die messtechnisch erfassten Farbkennwerte bedingen signifikante Unterschiede im farblichen Erscheinungsbild. Erhöht sich bei der Verarbeitung die MWDZ im Feinbräutomat, führt dies zu einem tendenziell helleren Brät mit einem höheren Gelbanteil. Die im Kutter hergestellten Bockwürste sind dabei am wenigsten rot, wobei sich der a-Wert signifikant von den Varianten des Feinbräutomaten unterscheidet. In Kombination mit dem tendenziell höchsten L-Wert und dem geringsten b-Wert führt dies für die Bockwürste der Kutterversuche zu einem helleren und blässeren Aussehen. Damit wird das weniger intensive farbliche Erscheinungsbild der sensorischen Bewertung bestätigt.

Da sich die messtechnisch erkannten Farbunterschiede nicht eindeutiger in den sensorischen Bewertungen widerspiegeln, könnte mit verschiedenen Faktoren in Zusammenhang stehen. Zum einen wird die Farbmessung an kalten Bockwürsten vorgenommen. Die dargestellten Bewertungen der sensorischen Qualität resultieren aus einer Warmverkostung*.

* Die Bewertung der Kaltverkostung wurde im Ergebnisteil nicht gesondert dargestellt, da sie vergleichbarer Ergebnisse wie bei der Warmverkostung erbrachte.

Eine zweite Erklärung könnte der Art der sensorischen Bewertung geschuldet sein. Die verwendete „Einfach beschreibende Prüfung“ orientierte sich am DLG-Schema (N.N., 2006d, Anhang 51). Bei der Beurteilung werden dabei das Grundbrät und darin enthaltene, farblich abweichende Bestandteile gesondert bewertet. Die sensible Farbmesstechnik erfasst hingegen das Gesamtbild aus Grundbrät und farblich abweichenden Bestandteilen und bildet die Farbwerte als gemittelten Wert ab.

Drittens könnten die Unterschiede mit der Farbwahrnehmungsempfindlichkeit des menschlichen Auges begründet werden. Die Farbwahrnehmung ist ein rein subjektives, physikalisch nicht messbares individuelles Empfinden von sichtbaren Lichtbereichen. Der Mensch kann so 7,5 bis 10 Millionen Farben wahrnehmen. Die verwendete Farbmesstechnik erfasst Farbe objektiv und physikalisch in Form von optischer Strahlung. Die Auflösung der Technik liegt bei 16,7 Millionen Farben (24 Bit). Basierend auf der unterschiedlichen Farbwahrnehmung ist die messtechnisch ermittelte Farbe demzufolge nicht immer mit der wahrgenommenen Farbe des Menschen vergleichbar. (DIX et al., 2004; WIESER, 2010; FAIRCHILD, 2011).

Insgesamt unterscheiden sich die beiden Verarbeitungstechniken bezüglich des Farbabstandes ΔE signifikant voneinander, nicht jedoch die einzelnen Varianten des Feinbrätautomaten, wie die Abbildung 60 verdeutlicht. Damit kann ein vergleichbares Farbbild mit dem Feinbrätautomaten hergestellt werden. Die herausgearbeitete Kennlinie für das Verhältnis von Vorschub zu MWDZ ist demnach zutreffend.

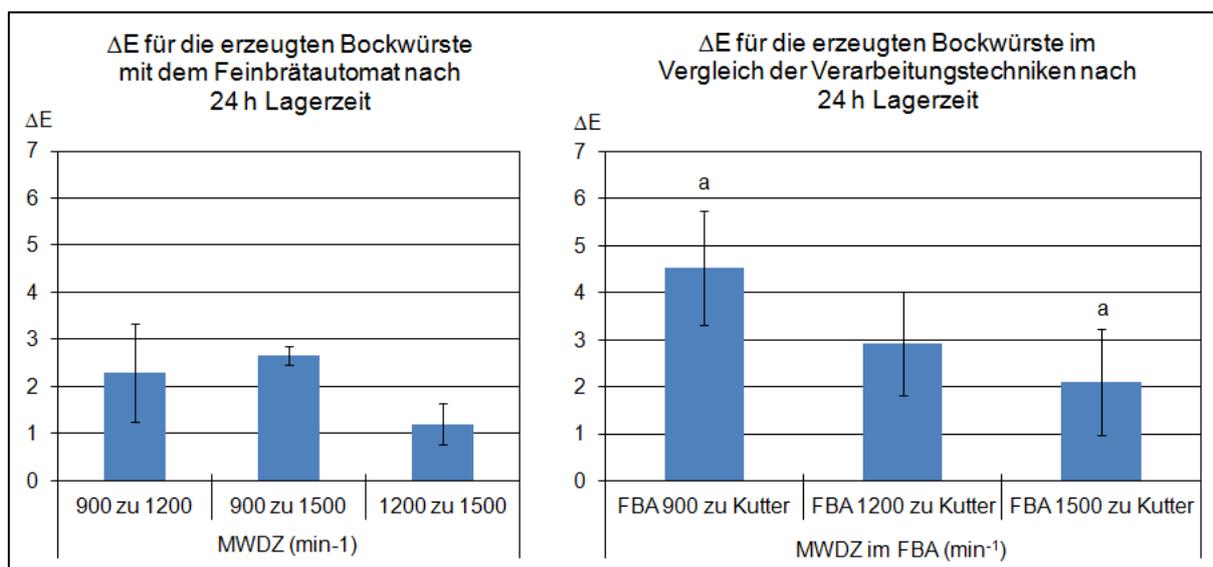


Abbildung 60: Farbabstand ΔE im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat und Kutter

(a: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Die Tatsache, dass der Farbabstand ΔE zum Teil deutlich oberhalb des in der Literatur definierten Grenzwertes von $\Delta E > 1$ bis > 2 liegt (HÄBLER, 2004; BIESKE und

VANDAHL, 2007; NEUBAUER, 2009; GALL, 2009; N.N., 2011e) und sich damit messtechnisch alle Bockwürste visuell voneinander unterscheiden, lässt sich sensorisch aus oben bereits angeführten Gründen nur bedingt bestätigen.

4.5.2 Vergleich der ernährungsphysiologischen Qualität

Der **TBARS-Gehalt** liegt, wie vorab festgestellt, für alle untersuchten Bockwürste unter 0,05 mg MDA/kg (siehe Tabelle 19, Seite 139) und ist damit nicht auffällig. Damit kann davon ausgegangen werden, dass der Fettabbau nicht zu weit vorangeschritten ist.

Für die analytisch bestimmten **Fettgehalte** können keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten verzeichnet werden, siehe Tabelle 25 (Anhang 52). Es wird aber generell ersichtlich, dass die Analysewerte von durchschnittlich 27,07 % deutlich über dem rein rechnerisch über die GEHA-Kalkulation bestimmten Fettanteil von 21,56 % in der Rezeptur liegen, vergleiche dazu Abbildung 24, Seite 62 (BUCKENHÜSKES et al., 2001). Dies deutet darauf hin, dass insbesondere die Fettrohstoffe Wamme und Fettbacke einen geringeren Anteil an Muskelgewebe und mehr Fett enthielten, als in der GEHA-Sortierung vorgesehen ist.

Tabelle 25: Wasser- und Fettgehalt (%) der erzeugten Bockwürste nach 24 h Lagerzeit im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutautomat und Kutter

Verarbeitungstechnik		Fettgehalt (%)	Wassergehalt (%)
Feinbräutautomat	MWDZ (min ⁻¹)		
	900	27,71 ± 0,04	49,96 ± 0,23 ^{ab}
	1200	27,25 ± 0,34	49,71 ± 0,23 ^{cd}
	1500	26,38 ± 0,16	58,13 ± 0,19 ^{ac}
Kutter	2500	25,95 ± 1,29	58,30 ± 0,30 ^{bd}

(a-d: Signifikanz zwischen Verarbeitungstechniken, $\alpha = 0,05$)

Bedingt durch den höheren Fettanteil in der Rezeptur, ist der durchschnittlich analytisch ermittelte **Wassergehalt** im Erzeugnis von 54,02 %, siehe Tabelle 25 (Anhang 52), im Vergleich zur GEHA-Kalkulation erkennbar geringer als der berechnete Wassergehalt von 63,71 % (BUCKENHÜSKES et al., 2001).

Die deutlichen Schwankungen im Wassergehalt der Bockwürste zwischen den Varianten können aber nicht allein auf Rohstoffinhomogenitäten zurück zu führen sein. Es wird vermutet, dass die Intensität der Beanspruchung während des Feinstzerkleinerungsvorganges dafür verantwortlich zeichnet. Eine höhere MWDZ im Feinbräutau-

tomat von 1500 min^{-1} scheint einen ähnlich hohen Energieeintrag in das Brät wie bei einem Kutter zu verursachen. Infolge dessen kommt es zu einem besseren Aufschluss der Muskelfasern, so dass sich das Wasser dauerhafter einlagern kann und die Emulsion stabiler wird. Zwar zeigt sich ein höheres WBV bei der im Kutter hergestellten Bockwurst, dieses ist aber nicht signifikant höher. Somit unterscheiden sich beide Varianten auch nicht signifikant im Wassergehalt voneinander. Durch den geringeren Energieeintrag bei MWDZ im Feinbrätautomat von 900 bzw. 1200 min^{-1} vermindert sich der Wassergehalt im Erzeugnis signifikant auf ein vergleichbares Level. Der geringere Wassergehalt der Bockwurst wird verursacht durch das abnehmende WBV bei sinkender MWDZ, infolge dessen während der rauch-thermischen Verarbeitung Wasser aus dem Brät verloren gehen kann.

Die Ergebnisse der analytisch ermittelten Fett- und Wassergehalte der hergestellten Brühwürste verdeutlichen anschaulich, dass die verwendete Rohstoffsortierung nach GEHA zum Teil deutlichen Schwankungen unterliegt. Dadurch wird ein nicht unerheblicher Einfluss auf die Verarbeitungsfähigkeit der Rohstoffe und auf die Qualität der daraus hergestellten Wurstbräte und Wurstwaren genommen. Auch die ernährungsphysiologische Qualität wird wesentlich beeinflusst, da mehr Fettgehalt in der Rezeptur einen verminderten Eiweißgehalt nach sich zieht. Dieser wird über den FE- und den **BEFFE**-Gehalt wiedergegeben. Der FE-Anteil im Erzeugnis liegt laut GEHA-Kalkulation (BUCKENHÜSKES et al., 2001) bei 12,18 %, der BEFFE-Gehalt wurde rechnerisch mit 10,62 % bzw. mit 87,16 % im FE kalkuliert, vergleiche Abbildung 24 (Seite 63). Da der analytisch bestimmte Fettgehalt höher und damit der Wassergehalt geringer ausfallen, nehmen automatisch der FE- und BEFFE-Gehalt ab. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die definierten Grenzwerte (BEFFE mindestens 8 %, BEFFE im FE mindestens 80 %) nicht unterschritten werden.

Das nachfolgende Rechenbeispiel demonstriert die Veränderungen in der rechnerischen GEHA-Kalkulation für den Austausch des Sortiments Wamme S IV (magere Wamme) gegen die fettigere Wamme der GEHA-Klasse S XI. Damit würde sich der Wasseranteil auf 57,16 % vermindern und der Fettanteil auf 29,98 % erhöhen. Infolge dessen sinken der FE-Gehalt auf 10,5 % und der BEFFE-Gehalt auf 8,83 % bzw. im FE auf 84,12 %. Die Grenzwerte werden dennoch eingehalten.

Eine stichprobenartige Analyse des Fettgehaltes der einzusetzenden Rohstoffe vor der Verarbeitung ist damit, trotz der Verwendung der GEHA-Sortierung, mehr als empfehlenswert.

5 Schlussfolgerungen

1. *Abbildung der Zerkleinerungsvorgänge in einem Wolf und Aufteilung der ermittelten Zerkleinerungsarbeiten in Teilarbeiten mit Hilfe einer mathematischen Methode*

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, für das Zerkleinern von plastoelastischen Rohstoffen wie Fleisch in einer Wolfmaschine eine mathematische Methodik zur Aufspaltung der erforderlichen Zerkleinerungsarbeit in die Teilarbeiten für Kompression, Reibung und Zerstörung bzw. Verschiebung abzuleiten. Dies ist auf die vergleichsweise gute Reproduzierbarkeit der Relativarbeiten im entwickelten Modell zurückzuführen.

Eine hohe Kompressions- bzw. Verschiebungsarbeit kennzeichnen elastische Rohstoffe, die sich nur mit viel Energie und unter hohem Förderdruck gut in die Bohrungen der Lochscheibe eindrücken bzw. dort fixieren lassen. Nimmt die Zerstörungsarbeit zu ist davon auszugehen, dass eine intensivere Zerkleinerung bei einem eher ziehenden, glatten Schnitt vorliegt, was in einem guten Schnittbild resultiert. Die Reibungsarbeit muss im Kontext mit dem herzustellenden Erzeugnis betrachtet werden, das heißt ist zum Beispiel eine Emulgierung erwünscht, muss Wärme eingearbeitet werden.

Als praktischer Nutzen ergibt sich somit die Chance, in Abhängigkeit vom verarbeiteten Rohstoff bzw. dem erwünschten Zerkleinerungszustand des Endprodukts, die Verarbeitungsparameter besser als bisher anzusteuern. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, für die unterschiedlichsten Rohstoffe sowie Endprodukte speziell adaptierte Schneidwerkzeuge (Messer und Lochscheiben) einzusetzen.

2. *Ermittlung der Abhängigkeiten von rohstoff- sowie technologiebedingten Verarbeitungsparametern beim Zerkleinern von Rohstoffen insbesondere Fleisch in einem Wolf*

Aus den gewonnenen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die untersuchten Einflussfaktoren

- Faserorientierung (längs, quer und senkrecht),
- Verarbeitungstemperatur (-4, 0, 4°C),
- Schneidgeschwindigkeit (2 und 20 mm/s),
- Tier- und Gewebeart (Rind-, Schwein- bzw. Putenmuskel und Schweinefett),
- Vorzerkleinerungsintensität (□20, □40, ○65_D40) sowie
- Förderdruck (1,5, 3, 4,5 und 6 bar) und
- Bohrungsdurchmesser in der Lochscheibe (3, 4, 5, 6, und 7,8 mm)

jeweils in unterschiedlich starkem Umfang einen Einfluss auf die Teilarbeiten für Kompression, Reibung und Zerstörung bzw. Verschiebung ausüben.

Es zeigt sich, dass Muskelfasern, welche längs ausgerichtet sind und quer zur **Faserorientierung** zertrennt werden, mehr Energieeinsatz benötigen, um geschert zu werden als dies für quer und senkrecht ausgerichtete Fasern der Fall ist. Dies wird durch den höchsten Anteil an Arbeit für die Kompression und Zerstörung bei gleichzeitig geringster Reibungsarbeit hervorgerufen. Im Vergleich dazu bedingen die geringsten Zerstörungs- und Reibungsarbeiten bei einer senkrechten Faserausrichtung (Schnitt vertikal parallel zur Faser) den wenigsten Aufwand zum Zerkleinern. Da während des Wolfens die Ausrichtung der Fleischfasern beim Eintritt in die Bohrungen der Lochscheibe nicht gesteuert werden kann, ist der praktische Nutzen dieser Ergebnisse eingeschränkt. Für eine Modellierung des Wolfprozesses ist es daher empfehlenswert, mit den Mittelwerten aus den drei möglichen Faserorientierungen zu arbeiten. Bei einer definierten Vorzerkleinerung der zu verarbeitenden Rohstoffe ließe sich eine bessere Standardisierung bzgl. der Homogenität der Rohstoffe womöglich eher gewährleisten.

Einen erheblichen Einfluss auf die für den Wolfprozess erforderlichen Arbeiten nimmt die **Verarbeitungstemperatur**. Erhöht sich die Temperatur von -4 auf 4°C , das heißt vermindert sich der Anteil an gefrorenem Wasser im Rohstoff, ist die geringste Zerstörungsarbeit erforderlich. Gleichzeitig führen der höchste Anteil an Kompressions- und Reibungsarbeit dazu, dass insgesamt die meiste Energie aufgebracht werden muss, um gekühlte Rohstoffe zu verwolfen. Durch den höheren Eintrag an Reibungswärme kann mehr Wärme während der Verarbeitung einarbeitet werden. Dies könnte bei der Herstellung von Brühwurstbrät ausgenutzt werden, da Wärme eine emulgierende Wirkung ausübt. Aus der geringen Zerkleinerungsarbeit lässt sich schlussfolgern, dass ein eher quetschender/reißender Schnitt ausgeführt wird, wodurch der Muskelzellaufschluss zunimmt und die Ausbildung einer Emulsion positiv beeinflusst wird. Der höhere Eintrag an Reibung bzw. der zu geringe Anteil an Zerkleinerungsarbeit bedingt, dass nachteilige Effekte bei der Herstellung anderer Erzeugnisse wie Rohwürste, Hackfleisch oder Hamburgermassen resultieren. Es kommt zu einem verschmierten, unklaren Schnittbild dieser Produkte.

Die Verarbeitungstemperatur und die dadurch veränderten Festigkeitseigenschaften der Rohstoffe haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung der Fleischzäpfchenlänge. Infolge der geringen Komprimierbarkeit durch die Eiskristallstruktur des Rohstoffes kann sich bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (-4°C) der Rohstoff nicht weit in die Bohrungen der Lochscheibe hinein verformen, so dass die Zäpfchenlänge abnimmt, wenn die Temperatur sinkt. Praktisch bedeutet dies, dass bei der Verwolfung von gefrorenem Fleisch die Messergeschwindigkeit vermindert werden muss, um dem Rohstoff mehr Zeit zu geben, sich in die Bohrung einzudrücken und darüber den Durchsatz zu erhöhen.

Die **Schneidgeschwindigkeit** spielt bei der Verwolfung eine weniger entscheidende Rolle. Tendenziell muss bei höherer Messergeschwindigkeit von 20 mm/s im Vergleich zu 2 mm/s bei vergleichbarer Arbeit für Kompression und Reibung signifikant

mehr Zerstörungsarbeit aufgebracht werden, was zur Folge hat, dass zwar insgesamt mehr Energie aufgebracht werden muss, sich gleichzeitig aber die Schnittqualität und Zerkleinerungsleistung erhöht.

Rohstoffe aus verschiedenen **Tier- und Gewebearten** zeigen unterschiedliche plasto-elastische Eigenschaften, infolge dessen werden die erforderlichen Arbeiten für den Zerkleinerungsprozess mehr oder weniger stark beeinflusst. Generell ist für die Verworfung von Fettgewebe der geringste Energieeinsatz zur Komprimierung und für die Überwindung der Reibung erforderlich. Dies führt bei gleichzeitig höchster Zerstörungsarbeit im Vergleich zu Muskelgewebe dazu, dass Fettgewebe eine insgesamt energieintensivere Verarbeitung nach sich zieht. Innerhalb der Muskelgewebe ist für Rindfleisch der geringste Arbeitsaufwand für die Kompression bzw. jeweils ein in etwa gleich hoher Anteil für die Reibungs- und Zerstörungsarbeit wie bei Schweinefleisch festzustellen. Dies führt dazu, dass für die Verarbeitung von Rind und Schweinefleisch insgesamt ein vergleichbar höherer Energieeinsatz notwendig ist als für Putenmuskel. Bei ansonsten gleichen Verarbeitungsbedingungen führen die Unterschiede in den einzelnen Rohstoffen zu einem veränderten Eindringverhalten in die Bohrungen der Lochscheibe. Es kann geschlussfolgert werden, dass bei der praktischen Umsetzung der Ergebnisse auf die Verarbeitung von homogenen Rohstoffen geachtet werden muss, um eine optimale Zerkleinerung zu gewährleisten. Liegen demnach inhomogene Gewebearten zum Beispiel mit zu viel Fett oder zu viele Sehnen vor, kommt es zu einer Separation der jeweiligen schwerer zu zerkleinernden/transportierenden Rohstoffkomponente bzw. zu einem Rückstau dieser. Der Wolfprozess verschlechtert sich deutlich, da es unter anderem auch zu einer Fettseparation führen kann. Um dem vorzubeugen ist in der Industrie der Einsatz von Trennsätzen, welche zur Abtrennung von beispielsweise Knorpeln und Sehnen genutzt werden, gängige Praxis.

Die unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften bei verschiedenen Rohstoffen führen dazu, dass in der Praxis ein jeweils anderer Durchsatz erzielt wird. Schweine- und Rindfleisch lassen sich besser und mit weniger Arbeitsaufwand komprimieren und in die Bohrungen eindrücken. Damit erhöht sich die Länge der Fleischzapfchen deutlich. Bei der Verarbeitung von Putenfleisch muss aufgrund dessen hoher Elastizität mehr Energie und Zeit für den Eindringvorgang aufgebracht werden. Ist die Messergeschwindigkeit zu hoch, ist noch nicht ausreichend Fleisch in den Bohrungen fixiert, so dass insgesamt der Durchsatz abnimmt. Erst ab einem höheren Förderdruck wird der Einfluss durch elastische Textur überwunden und mehr Rohstoff tritt in die Bohrungen ein, so dass der Durchsatz steigt.

Nimmt die **Vorzerkleinerung** von $\square 40$ auf $\square 20$ zu, ist mehr Arbeit für die Komprimierung und zur Überwindung der Reibung aufzuwenden. Dies beruht auf der Tatsache, dass Rohstoffe geringerer Stückgröße erst in sich komprimiert werden müssen, bevor sie in die Bohrungen der Lochscheibe eintreten können. Durch die vergrößerte Oberfläche kann Zellflüssigkeit mit darin enthaltenen Eiweißen austreten. Diese füh-

ren zu einer höheren Klebrigkeit des Rohstoffes, so dass die Reibung zunimmt. Da bei vergleichbarer Zerstörungsarbeit ein drastisch geringerer Energieeinsatz für die Verschiebung aufgebracht werden muss, ist von einem tendenziell geringeren Gesamtenergieaufwand bei der Verarbeitung kleinstückigerer Rohstoffe auszugehen. Über die Anpassung des Bohrungsdurchmessers an die Vorzerkleinerung besteht die Möglichkeit, die Verschiebungsarbeit weiter zu vermindern. Der Zerkleinerungsprozess würde infolge dessen insgesamt verbessert werden, da es eher zu einem, dem Wolfprozess förderlichen Rohstoffdurchfluss kommt. Der Förderdruck könnte vermindert und damit nachteilige Erscheinungen wie ein Quetschen und Verschmieren vermindert werden kann.

Eine intensivere Vorzerkleinerung führt entsprechend zu einer steigenden Zäpfchenlänge und damit zu einer höheren Durchsatzleistung der Lochscheibe. Praktisch werden die Erkenntnisse umgesetzt, indem mehrere Werkzeugebenen hintereinander geschaltet werden wie der Einsatz von 5- oder 7-stufigen Schneidsätzen belegt. Je mehr Zerkleinerungsebenen vorhanden sind, desto höher wird der Durchsatz. Voraussetzung ist, dass die einzelnen Lochscheiben exakt aufeinander abgestimmt sind, das heißt also die vorangehende Lochscheibe die jeweils optimale Vorzerkleinerungsgröße für die nachfolgende bereit stellt.

Wird der **Förderdruck** von 1,5 bzw. 3 auf 4,5 und 6 bar erhöht, kann mehr Kompressionsarbeit aufgebracht werden, das heißt die Fleischzäpfchen pressen sich immer kompakter in die Bohrung. Als Resultat kann der Rohstoff besser in die Bohrungen der Lochscheibe eintreten, da der durch SCHNÄCKEL et al. (2012a) herausgestellte feste Messerschnitt eher zum Tragen kommt. Dies hat zur Folge, dass der Energieaufwand für die Bewegung des rotierenden Messers verringert werden kann, was sich im geringsten Aufwand für die Zerstörung widerspiegelt. Dies wiederum bedeutet, dass sich die Schnittqualität deutlich verschlechtert, indem es zum Beispiel zu starken Rohstoffquetschungen kommt. Um Schädigungen der Rohstoffe zu minimieren, muss der Förderdruck in Abhängigkeit vom herzustellenden Endprodukt gewählt werden. Beachtet werden muss aber auch, dass zugleich die höchste Verschiebungsarbeit vorliegt, so dass insgesamt mit zunehmendem Förderdruck mehr Energie für die Verworfung aufgebracht werden muss als bei einem geringeren Druck von 1,5 oder 3 bar. Demzufolge kann geschlussfolgert werden, dass der Anteil an Arbeit für die Verschiebung verringert werden kann, wenn die Länge der Messerbalken zunimmt.

Der bekannte Effekt konnte bestätigt werden, dass sich mit steigendem Förderdruck mehr Fleisch in die Bohrungen eindrückt und sich damit die Zäpfchenlänge, also der Durchsatz erhöht.

Mit zunehmendem **Bohrungsdurchmesser** in der Lochscheibe von 3 auf 4 und 5 über 6 bis hin zu 7,8 mm vermindern sich die Arbeiten für die Kompression, Zerstörung und Verschiebung tendenziell. Da sich die Arbeit zur Überwindung der Reibung deutlich erhöht, muss insgesamt mehr Energie aufgebracht werden, wenn Fleisch an

Lochscheiben mit großer Bohrung geschert werden soll. Es wurde erwartet, dass sich die Kompressionsarbeit erhöht, da sich mehr Fleisch in die Bohrungen einpressen lässt. Da die Auswirkungen jedoch nicht eindeutig signifikant sind, muss weiterführenden Untersuchungen eine Klärung vorbehalten bleiben.

Erwartungsgemäß kann mit steigendem Bohrungsdurchmesser von einer Zunahme der Zäpfchenlänge ausgegangen werden. Dabei folgt die Entwicklung einer eher logarithmischen Kurve, welche vom Förderruck, dem Vorzerkleinerungsgrad und der Verarbeitungstemperatur sowie der Tier- und Gewebeart abhängt.

Die gewonnenen Ergebnisse bestätigen, dass der Lochscheibe mit ihrem Bohrbild, in Zusammenhang mit dem rotierenden Messer und seinen Schneidfolgen, eine ausschlaggebende Bedeutung beim Wolfen zukommt.

Der Wolfprozess kann dabei in verschiedene Zerkleinerungsvorgänge eingeteilt werden. Erstens kommt es durch die Stege der Lochscheibe in Flussrichtung des Rohstoffes zu einem Schnitt, welcher das Eindringen in die Lochscheibe ermöglicht. Zweitens werden die in die Bohrung gepressten Fleischzäpfchen durch das rotierende Wolfmesser durchtrennt. Es kann geschlussfolgert werden, dass bei gegebenem Bohrungsdurchmesser der Durchsatz eines Wolfes im Wesentlichen von der Summe aller Schneidkanten in der Lochscheibe und damit direkt von der Anzahl der Bohrungen abhängt. Vor diesem Hintergrund kann die theoretisch mögliche Leistung einer Lochscheibe durch beispielsweise konstruktive Veränderungen erhöht werden. So könnte durch die Umgestaltung der Öffnungsgeometrie der Bohrungen bei konstanter offener Bohrungsfläche pro Flächeneinheit mehr Schneidkante bereitgestellt werden.

Ab einem bestimmten Verhältnis von Vorzerkleinerungsintensität zum Bohrungsdurchmesser kommt es bei Einwirken eines definierten Förderdrucks zu einem stetigen **Durchfluss** des Rohstoffes durch die Bohrungen der Lochscheibe. Der Rohstoff zerkleinerte sich de facto selbst, ohne einem zusätzlichen Zerkleinerungsvorgang durch einen rotatorischen Scherschnitt zu unterliegen. Die Ausbildung der spezifischen Zäpfchenlänge wird damit wesentlich beeinflusst.

3. Ableitung von Anforderungen an Zerkleinerungsprozesse in einem Wolf und an die eingesetzte Werkzeuge für die Herstellung von feinstzerkleinerten und emulgierten Wurstbräten und Erzeugnissen

Aufgrund der Ergebnisse konnte für einen auf dem Wolfprinzip beruhenden Herstellungsprozess von Brühwurstbrät gezeigt werden, dass die Intensität der Zerkleinerung im Wesentlichen vom Bohrungsdurchmesser der im Emulgiersatz verwendeten End-Lochscheibe sowie von einem rohstoff- und endproduktangepassten Verhältnis von Vorschub (Schneckendrehzahl) in der Feinverwolfung zur Messerwellendrehzahl und den Schnittfolgen im Emulgiersatz abhängt.

Es lässt sich der Schluss ziehen, dass auf den Einsatz einer sehr feinen Endlochscheibe (Bohrungsdurchmesser < 1 mm) im Emulgiersatz verzichtet werden kann. Damit wird der Verwolfungs- und Emulgierungsprozess wirtschaftlicher und es können qualitativ hochwertigere Erzeugnisse hergestellt werden. Bspw. bedingt ein geringerer Bohrungsdurchmesser einen deutlich geringeren Brätdurchsatz, der Druck während der Emulgierung steigt, da das Brät nicht gut abfließen kann, was in einem unerwünschten Wärmeeintrag und einer Rohstoffschädigung resultiert und generell werden die Probleme bei der Reinigung dieser sehr feinen Lochscheibenöffnungen beseitigt. Als optimal hat sich eine Endlochscheibe im Emulgiersatz mit einem Bohrungsdurchmesser von 1,5 bis 2 mm herausgestellt. Die Emulsionsstabilität des Brätes wird verbessert und die Fähigkeit, Wasser in die Brätstruktur stabil einzubinden steigt. Dabei muss ein entsprechend angepasstes Verhältnis von MWDZ und Vorschub Beachtung finden. Für die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Wolfwerkzeuge, eingesetzten Rohstoffe und geforderte Erzeugnisqualität kristallisierte sich ein optimales Verhältnis von 1:30 (Vorschub zu MWDZ) heraus. Bei diesem Verhältnis kann von einer verbesserten Emulsionsstabilität des Brätes, einer höheren Wasserbindung sowie einer festeren, knackigeren Textur des Erzeugnisses ausgegangen werden. Zudem besteht die Möglichkeit, über dieses Verhältnis den Prozess der Feinbrätherstellung sehr einfach zu steuern. Es ist jedoch Tatsache, dass der Energiebedarf mit zunehmendem Vorschub und Messerwellendrehzahl überproportional gegenüber der Erhöhung des Durchsatzes ansteigt. So kann die Empfehlung gegeben werden, dass der Feinbrätautomat eher mit mittleren Messerwellendrehzahlen von ca. 1200 min^{-1} betrieben werden sollte.

4. Einfluss unterschiedlicher Verarbeitungstechniken auf die Oxidationsstabilität von feinstzerkleinerten und emulgierten Erzeugnissen

Es wurden zwei Verarbeitungstechniken zur Herstellung von Brühwurstbrät bezüglich des Einflusses der damit zu erzielenden Zerkleinerungsintensität auf die Oxidationsstabilität von feinstzerkleinerten und emulgierten Erzeugnissen untersucht. Die Techniken arbeiten mit zwei verschiedenen Wirkprinzipien. Der Feinbrätautomat zerkleinert und emulgiert Fleischrohstoffe mit Hilfe aufeinander folgender fester Messerschnitte, dann mittels eines rotatorischen Scherschnitts, während die verwendete Standardtechnik Kutter auf Grundlage eines rotatorischen Freischnitts (Fleisch wird während der Verarbeitung nicht fixiert) arbeitet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei beiden Verarbeitungstechniken trotz intensiver Feinzerkleinerung und damit der Schaffung einer großen Produktoberfläche eine hohe Stabilität der hergestellten Brühwürste gegenüber einer Fettoxidation über eine typische Lagerzeit von 42 Tagen vorliegt. Der für den Nachweis von Fettoxidationsprozessen herangezogene Gehalt an TBARS, nachgewiesen als Malondialdehyd, bleibt unverändert bei unter $0,05 \text{ mg MDA/kg}$ Rohstoff sowohl im Vergleich der

Techniken als auch bei einem verstärkten Eintrag von Energie in das Brät bei Erhöhung der Messerwellendrehzahl im Feinbräutomaten.

Schlussendlich kann demzufolge mit der neu entwickelten Verarbeitungstechnik eine der Standardtechnik vergleichbare Erzeugnisqualität und Haltbarkeit gewährleistet werden, bei gleichzeitig kontinuierlicher Verfahrensführung und höherer Produktivität.

5. Einfluss unterschiedlicher Verarbeitungstechniken auf die sensorische und ernährungsphysiologische Qualität von feinstzerkleinerten und emulgierten Wurstbräten und Erzeugnissen

Bei der Herstellung von Brühwurstbrät müssen je nach verwendeter Verarbeitungstechnik unterschiedliche Anforderungen an die Rezepturzusammenstellung gestellt werden. Klassischerweise wird bei der Brätherstellung in einem Kutter nur Eis zugegeben, um darüber die Temperaturerhöhung während der Feinzerkleinerung zu reduzieren. Mit der neuen Technik kann eine Rezepturveränderung dahingehend vorgenommen werden, dass anstatt 100 % Eis dieses bis zu 60 % durch kaltes Wasser (mit 4°C) ersetzt werden kann. Die Temperaturzunahme liegt bei der Emulgierung im Feinbräutomaten bei einer vorab empfohlenen mittleren MWDZ von 1200 min^{-1} bei etwa 12 K und damit bei vergleichbaren Bedingungen wie beim klassischen Kuttern (11 K). Dies birgt den enormen Vorteil einer deutlichen Energieeinsparung, da Kosten für die Eisherstellung vermindert werden können. Erhöhen bzw. vermindern sich die Temperaturdifferenzen (7 bis 21 K) mit höherer bzw. geringerer MWDZ im Emulgiersatz des Feinbräutomaten, führt dies zu keiner sensorisch und technologisch nachteiligen Qualitätsveränderung, solange das Verhältnis von Vorschub zu Messerwellendrehzahl aufeinander abgestimmt ist. Bei der Herstellung von Brühwurstbrät in einem Kutter können schon vergleichsweise geringe Temperaturveränderungen zu einer deutlich verschlechterten Brät- und Erzeugnisqualität beitragen.

Insgesamt betrachtet lässt sich schlussfolgern, dass die für den Feinbräutomaten erarbeitete Kennlinie zur Brühwurstherstellung mit einem Wolf, welche das Verhältnis von Vorschub und Messerwellendrehzahl darstellt, durch die Ergebnisse dieser Versuche bestätigt werden kann. Die sensorische und ernährungsphysiologische Qualität der hergestellten Wurstbräte und Erzeugnisse ist vergleichbar, solange das gleiche Verhältnis vorliegt (1:30).

Mit der neu entwickelten Verarbeitungstechnik können somit Brühwurstherzeugnisse hergestellt werden, welche eine vergleichbar hochwertige Qualität wie bei Verwendung der herkömmlichen Kuttertechnik aufweisen, dabei aber unter wesentlich effizienteren Herstellungsbedingungen erzeugt werden.

6 Praktischer Nutzen der Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ermöglichten im Folgenden die Entwicklung einer automatischen Prozesssteuerung für den prototypischen Feinbräutomaten, basierend auf der herausgestellten Kennlinie für das optimale Verhältnis von Rohstoffvorschub bei der Feinverwolfung (Schneckendrehzahl) und Messerwellendrehzahl in der Emulgierung (1:30). Damit hat beispielsweise der Produktionsleiter die Möglichkeit, in der Steuerungssoftware vorab die Verarbeitungs- und Brätparameter sowie Steuerungsgrenzwerte für den Feinbräutomaten einzustellen und somit die Bedienung der Maschine unabhängig vom Gutdünken des bedienenden Personals zu machen.

Die während der Verarbeitung online erfassten und durch die Steuerungssoftware zeitgleich ausgewerteten Brätparameter Temperatur und Druck bilden in Form von Ober- bzw. Untergrenzen die Basis zur Herstellung einer gleichbleibend hohen Brätqualität. Dabei erfolgt bei Abweichungen von Grenzwerten ein automatischer Eingriff der Steuerung in die Verarbeitung dahingehend, dass die Messerwellendrehzahl erhöht oder verringert wird, bis die Brätparameter wieder innerhalb der vorgegebenen Grenzen liegen. Bedingt durch die Kennlinie passt sich gleichzeitig der Vorschub an.

Nachfolgende Versuche zur Applikation des entwickelten prototypischen Feinbräutomaten für andere Wurstwaren zeigten, dass das Verarbeitungsverfahren auch geeignet ist, um neben Brühwürsten auch qualitativ hochwertige feinzerkleinerte Rohwürste („Feine Teewurst“) und Kochwürste („Feine Leberwurst“) herzustellen.

Des Weiteren wurden Versuche mit anderen Ausgangsrohstoffen als Fleisch durchgeführt, um das Einsatzfeld des Feinbräutomaten zu erhöhen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass durch das neue Verfahren bei der Verarbeitung von Quark-Käsemassen zu Speisequark eine Erhöhung dessen Cremigkeit erzielt wird, aber Anpassungen der Schnecken erforderlich sind. Bei der Verarbeitung von rohem Fisch (Hering ohne Innereien, Kopf und Schwanz aber mit Gräten und Schuppen) kann eine sehr feine Fischpaste hergestellt werden, deren Qualität jene auf dem Markt angebotener Erzeugnisse übertrifft.

Ausgehend von diesen Entwicklungen wurde durch die Hochschule Anhalt am 20.12.2013 eine Patentanmeldung unter dem Titel „Vorrichtung zum Feinzerkleinern, Emulgieren oder Feinzerkleinern und Emulgieren von biologischen Rohstoffen“ beim Deutschen Patent- und Markenamt in München vorgenommen (epoline Einreichungsnummer 800303548). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind damit inhaltlich geschützt, so dass einer Veröffentlichung aus schutzrechtlicher Sicht nichts entgegensteht.

7 Zusammenfassung

Zerkleinerungsprozesse stellen bei der Verarbeitung von Fleischrohstoffen eine essentielle Operation dar. Die einzusetzende Zerkleinerungstechnik hängt dabei vom zu verarbeitenden Rohstoff sowie herzustellenden Erzeugnis ab. Fehlt diese Abstimmung, führt dies zu erheblichen Einbußen in der Zerkleinerungsqualität. Für Feinstzerkleinerungs- und Emulgierprozesse wird daher standardmäßig zumeist ein diskontinuierlich arbeitender Kutter eingesetzt. Kontinuierlich arbeitende Fleischwölfe haben eine lange Tradition, werden aber trotz stetiger technischer Innovationen hauptsächlich nur für Grob- und Feinstzerkleinerungsprozesse genutzt. Eine Rohstoffemulgierung ist derzeit kaum umsetzbar. Mit der herkömmlichen Wolftechnik können sogenannte Feinbräte für Wurstwaren wie Brühwürste, welche weltweit am meisten verzehrt werden, nicht in ausreichend hoher Qualität hergestellt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Zerkleinerungsprozess von Fleischrohstoffen in einem Fleischwolf in Bezug auf wirkende Arbeiten und Zerkleinerungsprinzipien schrittweise neu zu betrachten. Zur systematischen und ganzheitlichen Beschreibung des Wolfprozesses sollten mathematische Modelle abgeleitet werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sollten Anforderungen an eine auf dem Wolfprinzip beruhenden, kontinuierlich arbeitenden Verarbeitungstechnologie zur Feinbrätherstellung mit Feinstzerkleinerung einschließlich Emulgierung sowie der dafür erforderlichen Wolfwerkzeuge abgeleitet werden. Im Fokus stand die reproduzierbare Herstellung sensorisch und ernährungsphysiologisch hochwertiger feinstzerkleinerter Brühwürste.

Der Wolfprozess kann durch zwei Zerkleinerungsprinzipien charakterisiert werden. In Flussrichtung des Rohstoffes erfolgt einerseits durch die Kanten der Lochscheibenbohrungen ein fester Messerschnitt. Dieser ermöglicht das Eindringen des Rohstoffes in die Bohrungen. Andererseits durchtrennt das Wolfmesser die in den Bohrungen befindlichen Fleischzäpfchen in Längsrichtung mittels eines rotatorischen Scherschnitts.

Es ist gelungen, zwei mathematische Modelle zu entwickeln, welche repräsentativ die für den Wolfprozess erforderlichen Teilarbeiten Kompression, Reibung, Zerstörung bzw. Verschiebung widerspiegeln. Die Teilarbeiten können durch die Faserorientierung, Verarbeitungstemperatur, Schneidgeschwindigkeit und den Rohstoff sowie durch den Förderdruck, Bohrungsdurchmesser und die Vorzerkleinerungsintensität beeinflusst werden. Unter praktischen Gesichtspunkten spielt die Faserausrichtung keine Rolle. Bei der Verwolfung von gekühlten Rohstoffen muss aufgrund der höheren Elastizität mehr Energie zur Komprimierung und zum Festhalten in den Bohrungen aufgebracht werden als in gefrorenem Zustand. Die Geschwindigkeit des Messers beeinflusst die notwendigen Teilarbeiten kaum. Für ein besseres Schnittbild ist aber eine höhere Schneidgeschwindigkeit empfehlenswert. Fettgewebe ist fester als

Muskelgewebe und bedarf daher eines vergleichsweise hohen Energieeintrags für die Zerkleinerung. Der Energieeinsatz kann reduziert werden, wenn sich die Vorzerkleinerungsintensität sowie der Förderdruck und Bohrungsdurchmesser erhöhen, da der Rohstoff besser in den Bohrungen fixiert wird und sich die Zerstörungsarbeit vermindert.

Durch die mathematischen Modelle konnten Anforderungen an eine auf dem Wolfprinzip beruhende Verarbeitungstechnologie zur Feinbrätherstellung sowie für notwendige Wolfwerkzeugentwicklungen abgeleitet werden. Die Nutzung von Modellen fördert die schnelle und dabei kostengünstige Umsetzung neuer Innovationen, was zu einer Qualitätssteigerung der Erzeugnisse beiträgt.

Für eine optimale Zerkleinerung in einem Wolf müssen der Förderdruck, der Bohrungsdurchmesser und die Vorzerkleinerungsintensität jeweils genau aufeinander abgestimmt werden. Praktisch bedeutet dies, dass der Rohstoff bei einem festgelegten Bohrungsdurchmesser einen definierten Vorzerkleinerungsgrad aufweisen und ausreichend Zeit haben muss, um in die Bohrungen einzudringen. Die Eindringtiefe und damit der Rohstoffdurchsatz steigen, wenn sich der Förderdruck und Bohrungsdurchmesser sowie die Vorzerkleinerungsintensität und Verarbeitungstemperatur erhöhen. Folglich lässt sich ableiten, dass für eine homogene und gleichmäßige Zerkleinerung beim Wolfen eine Standardisierung bezüglich Verarbeitungstemperatur, Vorzerkleinerungsintensität und Gewebeart zwingend erforderlich ist. Inhomogenitäten führen zu einem ungleichmäßigen Eindringverhalten in die Lochscheibenbohrungen, damit zu einem verschlechterten Schnittbild und einem qualitativ ungünstigeren Erzeugnis.

Im Ergebnis der Arbeit ist es gelungen, ein prototypisches, kontinuierlich arbeitendes Verfahren zur Feinbrätherstellung, welches schneidetechnisch auf dem Wolfprinzip basiert, zu entwickeln. Für ein qualitativ hochwertiges Brühwurstbrät muss der Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz nicht zwingend klein sein, das heißt 1,5 bis 2 mm sind ausreichend. Voraussetzung ist, dass ein optimiertes Verhältnis von Rohstoffvorschub in der Feinverwolfung zur Messerwellendrehzahl im Emulgiersatz von etwa 1:30 vorliegt.

Das entwickelte Feinbrätverfahren stellt Brühwurstbrät kostengünstiger als bei Einsatz der Standardtechnik Kutter her, da 60 % der Eisschüttung durch Wasser ersetzt werden. Im Vergleich mit einem Kutter garantiert die neuartige Verarbeitungstechnik eine sensorisch und ernährungsphysiologisch hochwertige Erzeugnisqualität, wobei die Ausbildung einer festeren, knackigeren Textur begünstigt wird. Die Nutzung des Wolfprinzips bei der Feinbrätherstellung durch die prototypische Technik beeinflusst die Haltbarkeit der Erzeugnisse nicht, so dass eine dem Kutter gleichwertige Qualität zur Verfügung steht.

Aufgrund der dargestellten positiven Ergebnisse wurde die neuartige Verfahrensentwicklung zum Patent angemeldet.

8 Summary

Comminution processes are one of the most important operations for meat production. The technique used depends on the use of raw materials as well as the manufactured products. A lack of adaption for the raw materials and for product specific requirements results in considerable losses in the comminution quality. The standard technique for producing fine comminuted and emulsified meat batter is a discontinuous chopper. By tradition and despite new advances, mincers are mainly used for continuous coarse to fine comminution. Currently, high quality emulsification by mincing, which is important for the production of fine comminuted and emulsified meat batters, is not possible. These products include cooked sausage.

The aim of this work was to look in detail in a stepwise manner in to the mincing process. The necessary workings and operation principles were describes for the raw material comminution. As a result of the scientific and holistic view, the mincing process should be designed using mathematical models. Based on new knowledge and models, requirements for a continuous working mincing technology to produce fine comminuted and emulsified meat batter and new tools could be developed. The research was also focused on the development of a repeatable production for sensory and nutritional quality.

The mincing process can be divided into two operation principles for comminution. A “fixed knife cut” is situated in the direction of the flowing raw material by the edge of the hole. This allows the raw material to go into the holes. A “rotating shear cut” is happened between the knife-edge and the edge of the hole. The knife cut the raw material that is fixed in the holes.

The two newly developed models were able to describe the mincing process and the necessary work for compression, friction, disintegration and for new detection work; pronounced shift. The work can be influenced by the fiber orientation, temperature, cutting speed, raw material (animal species and type of tissue) as well as the pressure, drill hole diameter and sample size.

Under practical conditions, the fiber orientation is not of great importance. Mincing of the more elastic chilled meat needs more energy for compression than for the frozen meat. The knife speed influences the necessary work to improve the mincing quality a higher cutting speed is recommended. Fat tissue is much firmer than muscle tissue and needs a higher energy input for mincing. The energy input can be reduced by increasing the sample size, pressure and drill hole diameter. The raw material will be fixed in the holes and the disintegration work will be decreased. Based on these mathematical models, the requirements for a continuous working technology and the production of fine comminuted and emulsified meat batter, based on the working principles of mincers and also for new tools have being developed and derived.

The use of models can improve the implementation of innovations in to the industry and increase the product quality faster and cheaper. For an optimized mincing process the pressure, drill hole diameter and sample size should be adapted to one another. This means the raw material should have a defined size and temperature. A standardization of temperature, sample size and tissue is necessary for a homogeneous and equal mincing. Inhomogeneous mincing results from varying raw material penetrating in the holes, therefore the cut view deteriorates, as does the product quality.

The main aim of this project was to develop a prototype for continuous fine comminuted and emulsified meat batter production, based on the mincing principle, to produce a high quality meat batter. The drill hole diameter of the last plate in the emulsification unit doesn't have to be very small. A drill hole diameter of 1.5 to 2 mm is sufficient. A prerequisite for this process is to guarantee an optimized relationship between the raw material flow in the pre-mincing and the knife shaft rotation speed in the emulsification unit, of about 1:30.

The newly developed technology for fine comminution and emulsification allows the exchange of 60 % ice by water and a more economical production of cooked sausage meat batter than with a standard chopper. In comparison with a chopper, the new technology guarantees a high sensory and nutritional quality product. The texture becomes firm and crunchy. The usage of this prototype mincer for fine comminuted and emulsified meat batter does not influence the shelf life of the product. The product quality is equivalent to a standard chopper.

Based on the positive results shown, this new technology design has applied for a patent.

Publikationsliste

Fachzeitschriften

Die in den Fachzeitschriften „Fleischwirtschaft“ und „Fleischwirtschaft International“ veröffentlichten wissenschaftlichen Artikel durchlaufen einen unabhängigen Begutachtungsprozess über Reviewer. Die Herausgabe der Fachzeitschriften wird durch einen wissenschaftlichen Beirat begleitet. Der Journal Impact Factor für die beiden Fachzeitschriften lag 2013 bei 0,112.

SCHNÄCKEL, W.; **KRICKMEIER**, J.; OKTAVIANI; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2011): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 1: Modellierung der Bedingungen beim Schneiden in einer Wolfmaschine. Fleischwirtschaft 91(7). 83-87

SCHNÄCKEL, W.; **KRICKMEIER**, J. and OKTAVIANI (2011): Determination of meat cutting properties through the analysis of Warner-Bratzler curve. Fleischwirtschaft International 26(4). 56-61

KRICKMEIER, J.; SCHNÄCKEL, W.; PONGJANYANUKUL, W.; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2012): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 2: Verteilung der notwendigen Arbeiten beim Scheren in Abhängigkeit von maschinen- und rohstoffbedingten Einflüssen. Fleischwirtschaft 92(1). 88-92

SCHNÄCKEL, W.; **KRICKMEIER**, J.; PONGJANYANUKUL, W.; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2012): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 3: Bestimmung der Eindringenschaften tierischer Gewebe in die Bohrungen einer Lochscheibe beim Wolfen. Fleischwirtschaft 92(3). 148-153

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und **KRICKMEIER**, J. (2012): Wolftechnik - Wirkungsgrade deutlich verbessern. Fleischwirtschaft 92(6). 25-33

SCHNÄCKEL, W.; **KRICKMEIER**, J.; SCHNÄCKEL, D.; MICKLISCH, I. und HAACK, O. (2012): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 4: Anwendung des Wolfprozesses auf die Feinbrätherstellung. Fleischwirtschaft 92(7). 91-96

Öffentlich verfügbarer Schlussbericht des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) finanziell geförderten Forschungsprojektes „Entwicklung eines Verfahrens zur kontinuierlichen Zerkleinerung einschließlich Emulgierung von eiweißreichen Lebensmitteln“ (IGF-Nr. 16327 BG).

Wissenschaftliche Tagungen

SCHNÄCKEL, W.; OKTAVIANI and **KRICKMEIER**, J. (2010): Determination of beef and pork cutting properties through the analysis of Warner Bratzler curve. Proceedings of the Scientific Conference “Food Science, Engineering and Technologies 2010”, Plovdiv/Bulgaria. Scientific Works Volume LVII, Issue 1. 103-108

SCHNÄCKEL W.; **KRICKMEIER**, J.; OKTAVIANI; PONGJANYANUKUL, W. and SCHNAECKEL, D. (2011): Modelling of mincing process by determination of meat cutting properties through the analysis of Warner-Bratzler curve. Proceedings of the 57th International Congress of Meat Science and Technology, Ghent, Belgium. 268

Literaturverzeichnis

AHN, D.U. and OLSON, D.G. (1998): Volatile production and lipid oxidation of irradiated cooked sausages with different packaging.

Report Meat ASL-R1622. Iowa State University

AHN, J.; GRÜN, I.U. and FERNANDO, L.N. (2002): Antioxidant properties of natural plant extracts containing polyphenolic compounds in cooked ground beef.

Journal of Food Science 67(4). 1364-1369

ANDERSSON, A.; ANDERSSON, K. and TORNBERG, E. (2000): A comparison of fat-holding between beefburgers and emulsion sausages.

Journal of the Science of Food and Agriculture 80. 555-560

ANDREO, A.I.; DOVAL, M.M.; ROMERO, A.M. and JUDIS, M.A. (2003): Influence of heating time and oxygen availability on lipid oxidation in meat emulsions.

European Journal of Lipid Science Technology 105. 207-213

ANONYMOUS (1980): Facts, flakes and fabricated meats.

Urschel Laboratories Inc. Valparaiso USA. 15

ARTMANN, S. (2010): Branchenbericht 2009 des Ernährungsgewerbes.

Gewerkschaft Nahrung-Genuss-Gaststätten Hamburg [Hrsg.]. 14

ASGAHR, A.; GRAY, I.J.; PEARSON, A.M.; BOOREN, A.M. and BUCKLEY, D.J. (1988): Perspectives in warmed-over flavor.

Food Technology 42(6). 102

AWISZUS und RÖSLER (2008): Fertigungslehre.

Virtuelle Verfahrenstechnik.

http://www.tu-chemnitz.de/mb/vif/stacking/fertlehr/Uebung_1_Grundlagen.pdf

letzter Zugriff 02.03.2011

BAIER, A. und HAACK, E. (1990): Technisch-technologische Untersuchungsergebnisse an Fleischwölfen.

Fleischwirtschaft 70(8). 880-886

BARBUT, S. (1988): Microstructure of reduced salt meat batters as affects by polyphosphates and chopping time.

Journal of Food Science 53(5). 1300-1304

BARBUT, S. and MITTAL, G.S. (1989): Effects of salt reduction on the rheological and gelation properties of beef, pork and poultry meat batters.
Meat Science 26. 177-191

BAUER, F. (2006): Fleischerzeugnisse.
Qualitätshandbuch Fleisch und Fleischerzeugnisse aus bäuerlicher Produktion.
Landwirtschaftskammer Österreich. Ländliches Fortbildungsinstitut Wien. 15

BAUMGARTNER, W. (2001): 1. Teil: Moderne Brühwurst-Herstellung.
Fleischerjahrbuch. 19-21

BAUMGARTNER, W. (2007): Handbuch Fleischer. 16-62
<http://www.devils-creek-ranch.de/limnks-rinder/Baumgartner-Fleischqualitaet.pdf>
letzter Zugriff 14.03.2012

BEITZ, W. und KÜTTNER, K.-H. (1990): Taschenbuch für den Maschinenbau.
Springer-Verlag Berlin

BELITZ, H.-D. (1992): Lehrbuch der Lebensmittelchemie.
4. Auflage. Springer-Verlag Berlin. 507-560, 580-583, 594

BERSZAN, G. (1989): Maschinen der Fleischindustrie.
Fachbuchverlag Leipzig. 3. Auflage. 142

BIESKE, K. und VANDAHN, C. (2007): Welche Farbunterschiede kann der Mensch wahrnehmen?
Technische Universität Ilmenau, Veröffentlichung zum Forschungsprojekt „Effizientes, inkohärentes Beleuchtungssystem zur Erzeugung von Weißlicht mit großer Lichtleistung und intelligenter Steuerung“.
http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/public/lichttechnik/Publikationen/2007/Langfassung_Bieske_Vandahl.pdf
letzter Zugriff 22.10.2013

BINKE, R. (2003): Vom Muskel zum Fleisch.
Kulmbacher Fortbildungstage - Kurzfassung. 157

BLOUKAS, I. and HONIKEL, K.O. (1992): The influence of mincing and temperature of storage on the oxidation of pork back fat and its effect on water- and fat-binding in finely comminuted batters.
Meat Science 32(2). 215-27

BOURNE, M.C. (2002): Food texture and viscosity: Concept and measurement.
2. Auflage. Academic Press London.

BOUTON, P.E.; HARRIS, P.Y. and SHORTHOSE, W.R. (1971): Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mouton.
Journal of Food Science 36. 436-439

BRANSCHIED, W.; HONIKEL K.O.; LENGERKEN G. und TROEGER K. (1998): Qualität von Fleisch und Fleischwaren.
Band 2. Deutscher Fachverlag Frankfurt/Main. 613-650, 702-718, 774-886

BRANSCHIED, W.; HONIKEL K.O.; LENGERKEN G. und TROEGER K. (2007a): Qualität von Fleisch und Fleischwaren.
Band 1. Deutscher Fachverlag Frankfurt/Main. 211-214, 531

BRANSCHIED, W.; HONIKEL K.O.; LENGERKEN G. und TROEGER K. (2007b): Qualität von Fleisch und Fleischwaren.
Band 2. Deutscher Fachverlag Frankfurt/Main. 613-650, 689-726, 737-743, 755-776, 795-887, 937-970, 1056-1081

BROWN, T.; PURNELL, G.L. and SWAIN, M.J. (2000): Improving food cutting systems.
Proceedings of Icheme Food and Drink. 103-106

BROWN, T.; JAMES, S.J. and PURNELL, G.L. (2005): Cutting forces in foods: Experimental measurements.
Journal of Food Engineering 70. 165-170

BUCKENHÜSKES, H.J.; HACK, K.-H.; HOFF, W.; HULLEMANN, G.; KECK, W.; NAGEL, E. und STAFFE, E. (2001): GEHA Praxis-Handbuch der Material- und Betriebswirtschaft: Zerlegen, Standardisieren, Kalkulieren.
Deutscher Fleischer-Verband Frankfurt/Main

BURGER, D.L. and ACTON, J.C. (1984): Rheological properties of comminuted meat batters and relationship to constituent interactions.
Journal of Food Technology 19. 719-724

BÜNTE, H. (2003): International Medical College.
MIB GmbH Münster.
<http://www.med-college.hu/de/wiki/artikel.php?id=585&lan=1>
letzter Zugriff 05.04.2012

CANNON, J.E.; MORGAN, J.B.; SCHMIDT, G.R.; DELMORE, R.J.; SOFOS, J.N.; SMITH, G.C. and WILLIAMS, S.N. (1995): Vacuum-packaged precooked pork from hogs fed supplemental vitamin E: Chemical, shelflife and sensory properties.
Journal of Food Science 60. 1179-1182

CANNON, J.E.; MORGAN, J.B.; SCHMIDT, G.R.; TATUM, J.D.; SOFOS, J.N.; SMITH, G.C.; DELMORE, R.J. and WILLIAMS, S.N. (1996): Growth and fresh meat quality characteristics of pigs supplemented with vitamin E.

Journal of Animal Science 74. 98-105

CHANNON, H.A. and TROUT, G.R. (2002): Effect of tocopherol concentration on rancidity development during frozen storage of cured and an uncured processed pork product.

Meat Science 62. 9-17

CIULICĂ, L.G. and RUS, E. (2011): The influence of the knife constructive and functional parameters on the process of cutting vegetables.

Bulletin of the Transilvanian University of Braşov. Series II. Vol. 4(53). No. 2. 105-110

CLAUS, R. and MARRIOTT, N.G. (1995): Influence of vitamin E on improving meat colour and lipid stability.

Meat Focus International 4. 109-112

DAVENEL, A.; RIAUBLANC, A.; MARCHAL, P. and GANDEMER, G. (1999): Quality of pig adipose tissue: Relationship between solid fat content and lipid composition.

Meat Science 51. 73

DIX, A.; FINLAY, J.; ABOWD, G.D. and BEALE, R. (2004): Human-Computer-Interaction.

Pearson Education Limited Edingburg Gate. 18

DOLATA, W. (1999): Bewertung der technologischen Arbeitseffektivität von Kuttermessern. Teil 3: Vergleichende Bewertung von Messern mit unterschiedlich gestalteten Schneidkanten.

Fleischwirtschaft 79(5). 94-96

DOOGHE, W. (2013): Antioxidantien: Natürlicher Erhalt der Qualität von Burgern.

Fleischwirtschaft 93(3). 61-62

DOWGIALLO, A. (2005): Cutting force of fibrous materials.

Journal of Food Engineering 66. 57-61

DU, D. und TSCHSCHNER, H.-D. (1986): Mechanische Modelle zur Beschreibung des Deformationsverhaltens von Lebensmitteln und ihre Klassifizierung.

Technische Mechanik 7(4). 43-50

EISENBRAND, G.; MEYER, A.M. und SCHREIER, P. (2006): RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie.

Georg Thieme Verlag Stuttgart. 2. Auflage. 635

EL-ALIM, S.S.L.; LUGASI, A.; HÓVÁRI, J. and DWORSCHÁK, E. (1999): Culinary herbs inhibit lipid oxidation in raw and cooked minced meat patties during storage. *Journal of Science of Food and Agriculture* 79. 277-285

FAIRCHILD, M.D. (2011): *The Color Curiosity Shop*. Rochester Institute of Technology. MDF Publications Honeoye Falls, NY

FALLER, A. (1999): *Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion*. 13. Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart. 72-91

FARAQ, K.W.; LYNG, J.G.; MORGAN, D.J. and CRONIN, D.A. (2009): Effect of low temperatures (-18 to 5°C) on the texture of beef lean. *Meat Science* 81. 249-254

FELBER, E. und JAKOB, H. (1987): *Brühwurstatlas*. Hugo Matthäus Druckerei und Verlag Stuttgart. 11-17

FERNÁNDEZ-ESPLÁ, M.D. and O'NEILL, E. (1993): Lipid oxidation in rabbit meat under different storage conditions. *Journal of Food Science* 58(6). 1262-1264

FISCHER, A. (1989): *Eigenschaften und Anforderungen an das Fettgewebe des Schweines: Die Verarbeitung von Schlachttierfetten*. *Die Fleischerei* (4). 383-389

FLIEDNER, W. (1993): *Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Behr's Verlag Hamburg. 120-163, 223

FRANZKE, C. (1996): *Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Behr's Verlag Hamburg

FREDE, W. (2010): *Handbuch für Lebensmittelchemiker*. 3. Auflage. Springer Verlag Heidelberg. 329-330

FRIES, R. (1992): *Fleischhygiene und Lebensmitteluntersuchung*. Ulmer Verlag Stuttgart. 196, 208-214

GALL, L. (2009): *Farbtoleranzen*. <http://www.farbmatrik-gall.de/cielab/toleranz/index.html>
letzter Zugriff 22.10.2013

GIACCONE, V.; CIVERA, T.; TURI, R.M. und PARISI, E. (1991): Antioxidative Wirksamkeit von Zusatzstoffmischungen: Auswirkung auf den chemischen, mikrobiologischen und sensorischen Status von italienischen Rohwürsten.

Fleischwirtschaft 71(12). 1442-1449

GLÄSER, K.R. (2000): Untersuchung zur Eignung der Fettzahl als Kriterium für die Einschätzung der Fettqualität von Mastschweinen unter dem Einfluss der Fütterung und im Hinblick auf die Qualität von Verarbeitungsprodukten.

Dissertation (Nr. ETH 14014). Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
Abstract

GORBATOW, A.V. und GORBATOW, V.M. (1970): Die Fließeigenschaften des rohen Fleischbrätes.

Fleischwirtschaft 50(3). 297-311

GORBATOW, A.V. und GORBATOW, V.M. (1974): Advances in sausage meat rheology.

Journal of Texture Studies 4. 406-437

GRABEIN, P. und RAEUBER, H.J. (1987): Automatisierung des Kutterprozesses. 1. Problemanalyse.

Fleischwirtschaft 67(12). 1507-1510

GRAU, R. und HAMM, R. (1953a): Eine einfache Methode zur Bestimmung der Wasserbindung im Fleisch.

Naturwissenschaft 40. 29

GRAU, R. und HAMM, R. (1953b): Über das Wasserbindevermögen des Säugetiermuskels. II. Mitteilung: Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskels.

Biochemische Zeitschrift. 446-460

GRAY, J.I.; GOMAA, E.A. and BUCKLEY, D.J. (1996): Oxidative quality and shelf life of meats.

Meat Science 43. 111-123

GRUNDKE, G. (1965): Warenkunde: Qualitätsbegriffe.

Fachbuchverlag Leipzig

HAACK, E. und WARNECKE H.-W. (1998a): Tendenzen in der Zerkleinerungstechnik: 2. Wölfe.

Fleischwirtschaft 78(9). 935-941

HAACK, E. und WARNECKE H.-W. (1998b): Tendenzen in der Zerkleinerungstechnik: 3. Füllwolftechnik oder Füllmaschinen mit integrierten Wölfen.

Fleischwirtschaft 78(10). 1039-1045

HAACK, E.; WARNECKE, H.-W. und WILKE, J. (1999a): Entwicklungstendenzen in der Wolfstechnik.

Fleischwirtschaft 79(5). 46-48

HAACK, E.; WARNECKE, H.-W. und WILKE, J. (1999b): Wurstherstellung ohne Kutter: Füllwolfstechnik geht neue Wege.

Fleischwirtschaft (79)7. 35-40

HAACK, E. und WARNECKE, H.-W. (2000): Haltbarkeit hängt von der Technik ab.

Fleischwirtschaft 80(4). 40-45

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und HAACK, O. (2003a): Messerverschleiß ist reduzierbar: Abläufe in den einzelnen Schneideebenen eines Schneidsatzes eines Fleischwolfes.

Fleischwirtschaft 83(7). 23-26

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und HAACK, O. (2003b): Optimal Fördern und Zerkleinern: Grundlagen und Vorgänge bei der Fleischbearbeitung mit Maschinen der Wolfstechnologie.

Fleischwirtschaft 83(6). 41-47

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und HAACK, O. (2003c): Eine Revolution kündigt sich an: Der Pumpwolf wird alle Bereiche der Fleischverarbeitung erfassen.

Fleischwirtschaft 83(9). 67-70

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und HAACK, O. (2003d): Probleme, Ursachen und Lösungen: Grundlagen und Vorgänge bei der Fleischbearbeitung mit Maschinen der Wolfstechnologie.

Fleischwirtschaft 83(4). 52-56

HAACK, E. und SCHNÄCKEL, W. (2004): Leistung gepaart mit Spitzenqualität.

Fleischwirtschaft 84(9). 57-62

HAACK, E., EHRLE, E. und KALLWEIT, D. (2006): Es gibt noch viele unbekannte Größen: Die Rohstoffbearbeitung im Kutter mit Hochleistungsmessern.

Fleischwirtschaft 86(1). 47-51

HAACK, E. und SCHNÄCKEL, W. (2007a): Von Einzelsystemen zu Verarbeitungslinien: Zerkleinerungsmaschinen in der Wolfstechnik.

Fleischwirtschaft 87(9). 53-60

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und STOYANOV, S. (2007b): Der Rohstoff spielt eine Doppelrolle: Konstruktionsqualität und abgestimmte Messergeometrien ermöglichen neue Leistungsbereiche.

Fleischwirtschaft 87(1). 50-55

HAACK, E. and SCHNÄCKEL, W. (2008a): Virtually unlimited combinations possible. *Fleischwirtschaft International* 23(4). 41-45

HAACK, E. und SCHNÄCKEL, W. (2008b): Kombinationsmöglichkeiten quasi unbegrenzt. Teil 1: Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft* 88(3). 49-54

HAACK, E. und SCHNÄCKEL, W. (2008c): Rohstoffveredlung: Vom Rohstoff zum Feinbrät - ein Arbeitsgang. Teil 2: Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft* 88(4). 75-80

HAACK, E. and SCHNÄCKEL, W. (2008d): From meat to emulsion - a single operation. Part 2: Separation systems for upgrading material properties of meat. *Fleischwirtschaft International* 23(5). 23-28

HAACK, E. und HAACK, O. (2009a): Wolfforschung: Schneidwerkzeuge in Trend. Infobroschüre INOFEX GmbH Halle/Saale und Power Tools GmbH Spreenhagen, Halle/Saale. 32-38

HAACK, E. (2009b): Maschinen und technische Bewertung der Zerkleinerungsaufgaben und erreichte Schnittgutqualität. Interner Abschlussbericht der INOFEX GmbH Halle/Saale zu gemeinsamen Industrierversuchen mit der Hochschule Anhalt Bernburg vom 08.06.2009

HAACK, E. (2012): Messerstörfunktion bei der Rohstoffzerkleinerung auf der Lochscheibe durch Messerarten und Messerdrehzahlen. Internes Informationsmaterial der Firma Power Tools GmbH Spreenhagen. erhalten 11/2012

HAACK, E.; SCHNÄCKEL, W. und KRICKMEIER, J. (2012): Wolftechnik: Wirkungsgrade deutlich verbessern. *Fleischwirtschaft* 92(6). 25-33

HALL, G. (1987): Interactions between products of lipid oxidation and proteins. *Food Science Technology Today* 1. 155-158

HAMM, R. (1963): Die Mikrostruktur des Muskels und ihre Beziehung zum Wasserbindungsvermögen. *Fleischwirtschaft* 43(4). 298-301

HAMM, R. und RIESNER, K. (1967): Zur Rheologie des Fleisches. I. Messung der Fließigenschaften von Muskelhomogenaten mit dem Rotationsviskosimeter. *Fleischwirtschaft* 47(10). 1122-1128

HAMM, R. und RIESNER, K. (1968): Zur Rheologie des Fleisches. II. Das Fließverhalten von Modellbräten und seine Beziehung zum Wasserbindungsvermögen des Fleisches.

Fleischwirtschaft 48(2). 192-201

HAMM, R. (1972a): II. Struktur und Zusammensetzung des Muskels.

Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermögen des Muskeleiweißes in Theorie und Praxis. 1. Auflage. Paul Parey Verlag Berlin und Hamburg. 14-25

HAMM, R. (1972b): XII. Wasserbindungsvermögen und Fließverhalten.

Kolloidchemie des Fleisches. Das Wasserbindungsvermögen des Muskeleiweißes in Theorie und Praxis. 1. Auflage. Paul Parey Verlag Berlin und Hamburg. 208-213

HAMM, R. und REDE, R. (1972): Zur Rheologie des Fleisches. V. Wirkung von Kochsalz und Diphosphat auf die rheologischen Eigenschaften von Rindermuskel-Homogenaten zu verschiedenen Zeitpunkten post mortem.

Fleischwirtschaft 52(3). 331-336

HAMM, R. (1973): Die Bedeutung des Wasserbindungsvermögens des Fleisches bei der Brühwurstherstellung.

Fleischwirtschaft 53(1). 73-81

HAMM, R. (1975): On the rheology of minced meat.

Journal of Texture Studies 6. 281-296

HAMM, R. und REDE, R. (1975): Zur Rheologie des Fleisches. VII. Einfluss des Fettgehaltes und der Temperatur auf das Fließverhalten von Bräten.

Fleischwirtschaft 55(1). 99-102

HAMM, R. (1981): Struktur und Funktion des Muskels.

Chemie und Physik des Fleisches. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 89-105

HAMMER, G.F. (1992): Beeinflussung von Brühwursteigenschaften.

Fleischwirtschaft 72(11). 1477-1493

HAMMER, G.F. (1999): Rheologische Untersuchungen an Bräten.

Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 38-39

HAMMER, G.F. und STOYANOV, S. (2004): Viskosität von Brätmassen.

Jahresbericht der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 152-153

HAMMER, G.F.; HAACK, E. und STOYANOV, S. (2006): Unterschiedliche Qualität von Brühwurstbrät: Kuttern mit verschiedenen Messern. Fleischwirtschaft 86(4). 88-92

HAMMOND, J. (1952): Objektive Tests für die Qualität des Fleisches. Ann. de la Nutrit et Aliment. Paris VI. 119-125

HARSTICK, H. und VOGELSANG, TH. (2012): Vorläufige Produktionsentwicklung in der Fleischverarbeitung 2011. Pressemitteilung zur VDF/BVDF-Jahrestagung 2012 http://www.v-d-f.de/news/pm_20120510_0194/ letzter Zugriff 23.07.2012

HÄBLER, U. (2004): Von RGB-Modell zum LAB-Farbraum - Lab: Farben vergleichen und Farbabstand. Vorlesungsunterlagen SS2004-2008 »Farbmanagement« und »Farbraumtransformationen« der Fakultät 07 für Informations-, Medien- und Elektrotechnik der Fachhochschule Köln. <http://www.wisotop.de/farbabstand-farben-vergleichen.shtml> letzter Zugriff 22.10.2013

HAUSMAN, G.J. (1978): Cellular and histological aspects of developing porcine adipose tissue. Proceedings of the 31th Annual Reciprocal Meat Conference of the AMSA. Storrs, Connecticut. National Live Stock and Meat Board. Chicago IL. 35-52

HEINZ, G. and HAUZINGER, P. (2007): Meat processing technology for small- to medium scale producers. RAP Publication (FAO) No. 20. Bangkok Thailand

HEISS, R. (1991): Lebensmitteltechnologie: Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. 4. Auflage. Springer Verlag Berlin. 51-59

HEISS, R. (1996): Lebensmitteltechnologie: Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. 5. Auflage. Springer Verlag Berlin. 55

HEISS, R. (2004): Lebensmitteltechnologie: Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. 6. Auflage. Springer Verlag Berlin. 523f

HILSE, G. (1984): Empfohlene Mindesthaltbarkeitsfristen für Fleischwaren. Fleischwirtschaft 64(9). 1288-1295

- HOFMANN, K. (1973): Was ist Fleischqualität?
Fleischwirtschaft 53(4). 485-489
- HOFMANN, K. (1977): Die Wasserbindung des Fleisches und ihre Messung.
Fleischwirtschaft 57(4). 727-731
- HOFMANN, K. (1987a): Der Begriff Fleischqualität.
Fleischwirtschaft 67(1). 44-49
- HOFMAN, K. (1987b): Der pH-Wert: Ein Qualitätskriterium für Fleisch.
Fleischwirtschaft 67(1). 557-562
- HÖGG, K.-J. und KOTTER, L. (1995): Physikalisch-chemischer Status von Brühwurstbrät und Brühwurst.
Fleischwirtschaft 75(12). 1433-1437
- HOPKINS, D.L.; TOOHEY, E.S.; LAMB, T.A.; KERR, M.J.; VAN DE VEN, R. and REFSHAUGE, G. (2011): Explaining the variation in the shear force of lamb meat using sarcomere length: The rate of rigor onset and pH.
Meat Science 88. 794-796
- HONIKEL, K.O. (1981): Wasserbindung und Fettemulgierung bei der Fleischverarbeitung.
Chemie und Physik des Fleisches. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 89-105
- HONIKEL, K.O. (1986): Wasserbindungsvermögen von Fleisch.
Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 67-88
- HONIKEL, K.O. (1987): Wasserbindungsvermögen von Fleisch.
Fleischwirtschaft 67(4). 418-428
- HONIKEL, K.O. (2000): Standardisierung physikalischer Messverfahren bei Fleisch.
Fleischwirtschaft 80(7). 75-81
- HONIKEL, K.O. (2004): Vom Fleisch zum Produkt: Reifen - Erhitzen - Zerkleinern - Salzen.
Fleischwirtschaft 84(5). 228-234
- HONIKEL, K.O. (2007): Physikalische Messmethoden zur Erfassung der Fleischqualität.
Qualität von Fleisch und Fleischwaren. 2. Auflage. Deutscher Fachverlag Frankfurt/Main. 855-881

HÜTTER, L.A. (1988): Wasser und Wasseruntersuchungen.
3. Auflage. Diesterweg Verlag Frankfurt/Main. 221-235

IGENE, J.O.; PEARSON, A.M.; MERKEL, R.A. and COLEMAN, T.H. (1979): Effect of frozen storage time, cooking and holding temperature upon extractable lipids and TBA values of beef and chicken.
Journal of Animal Science 49. 701-707

JAKOB, H. (2005a): Brühwurstherstellung: Fett und Schüttung.
AID-infodienst

JAKOB, H. (2005b): Erläuterungen zu den Brühwurstkutterverfahren: C1b Wurstherstellung – Brühwurst.
AID-infodienst

JENSEN, C.; FLENSTED-JENSEN, M.; SKIBSTED, L.H. and BERTELSEN, G. (1998): Warmed-over flavour in chill-stored pre-cooked pork patties in relation to dietary rapeseed oil and vitamin E supplementation.
Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung 207. 154-159

KAHLERT, B. (2013): Haltbarkeit und Lagerung unserer Wurstspezialitäten.
Fleischerfachgeschäft Bernd Kahlert.
<http://www.partyservice-eisenach.de/Haltbarkeit.19.0.html>
letzter Zugriff 09.01.2013

KALLWEIT, E.; KIELWEIN, G.; FRIES, R. und SCHOLTYSSSEK, S. (1988): Qualität tierischer Nahrungsmittel.
UTB Eugen Ulmer Verlag Stuttgart

KAMDEM, K.A.T. and HARDY, J. (1995a): Influence of various conditions on meat grinding characteristics.
Journal of Food Engineering 25. 179-196

KAMDEM, A.T.K. and HARDY, J. (1995b): Grinding as a method of meat texture evaluation.
Meat Science 39. 225-236

KANNER, J. (1994): Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications.
Meat Science 36. 169-189

KARLSON, P. (1988): Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler.
Georg Thieme Verlag Stuttgart. 446-453

- KATSARAS, K.; PEETZ, P. und SCHNEIDER, R. (1984): Darstellung von Fettgewebe mit dem Raster-Elektronenmikroskop.
Fleischwirtschaft 64(2). 200-202
- KATSARAS, K. und PEETZ, P. (1988): Elektronenmikroskopische Darstellung der Funktion von Fetten in Wurstwaren.
Fleischwirtschaft 68(9). 1187-1192
- KATSARAS, K. (1991): Morphologische Grundlagen der Qualität von Wurstwaren.
Fleischwirtschaft 71(3). 254-264
- KAUFMANN, H.P. und THIEME, J.G. (1957): Neuzeitliche Technologie der Fette und Fettprodukte. XLIV: Die Zerkleinerung der Rohstoffe.
Fette-Seifen-Anstrichmittel 59(12). 1096-1104
- KERRY, J.; KERRY, J. and LEDWARD, D. (2005): Meat processing: Improving quality.
CRC Press LLC Boca Raton and Woodhead Publishing Ltd. Cambridge. 332-352
- KIEßLING, I. und RAEUBER, H.-J. (1981): Struktur und strukturmechanische Eigenschaften von Brät frischer Rohwurst (II).
Fleisch 35(12). 236-238
- KIM, J.C.; HONIKEL, K.O. und HAMM, R. (1985): Veränderungen im Schweinemuskel nach dem Schlachten und ihr Einfluss auf das Wasserbindungsvermögen von Fleisch und Muskelhomogenaten.
Fleischwirtschaft 65(4). 489-496, 640-649
- KIM, Y.S.; ONG, A.; BOBBILI, N.; DUPONTE, M.W. and FUKUMOTO, G.K. (2007): Evaluation of meat tenderness of forage-finished cattle produced in Hawaii and factors affecting the tenderness.
Food Safety and Technology June, FST-27. 1-7
- KING, M.J. (1997): Fracture energy during slicing of frozen meat by a vibrating knife.
Meat Science 46. 387-399
- KING, M.J. (1999): Slicing frozen meat with an oscillating knife.
Meat Science 51. 261-269
- KIPPAN, H. (2000): Handbuch der Printmedien: Technologien und Produktionsverfahren.
Springer Verlag Berlin. 819

KLETTNER, P.-G. und STIEBING, A. (1980): Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen. 1. Einführung in die Grundlagen der Farbmessung. Fleischwirtschaft 60(11). 1970-1976

KLETTNER, P.-G. (1983): Messung der Festigkeit von Fleisch und Fleischerzeugnissen mit dem Penetrometer. Fleischwirtschaft 63(3). 346-347

KLETTNER, P.-G. (1984a): Technologie der Brühwurst: Zerkleinerungstechnik. Kulmbacher Reihe. Band 4. 103-122

KLETTNER, P.-G. (1984b): Rohstoffauswahl und Zusammensetzung von Brühwürsten. Technologie der Brühwurst. Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 103-115

KLETTNER, P.-G. (1994): Fleisch und Fleischerzeugnisse: Messungen der Textur oder Konsistenz mit Prüfmaschinen. Fleischwirtschaft 74(4). 378-381

KLETTNER, P.-G. (1996): Einfluss des Speckanteils, des Kutterverfahrens, der Zuckermenge und -art auf die Herstellung feinzerkleinerter, streichfähiger Rohwurst. Fleischwirtschaft 76(4). 372-377

KLETTNER, P.G.; OTT, G. und BÖHM, H. (2003): Festigkeitsprüfmethoden bei Schweine-, Rind- und Truthahnfleisch. Fleischwirtschaft 83(9). 132-135

KLOCKE, F. und KÖNIG, W. (2006): Fertigungsverfahren Umformen. Fertigungsverfahren. 5. Auflage. Springer Verlag Berlin. 456

KÖHLER (2013): Fleischerei-Feinkost Köhler
<http://www.feinkost-koehler.de/Bruehwuerste-Wuerstchen.html>
letzter Zugriff 24.11.2012

KOLAKOWSKA, A. and SIKORSKI, Z.Z.E. (2011): Chemical, biological and functional aspects of food lipids. Chemical and functional properties of food components series. Second Edition. CRC Press LLC Boca Raton. 90-94

KREUZER, M.; MESSIKOMMER, R. und LEIBER, F. (2008): Kapitel 4: Beschaffenheit tierischer Lebensmittel. Institut für Agrarwissenschaften und Tierernährung Zürich. Vorlesungsskript 6. Semester BSc Agrarwissenschaften. D-AGRL, ETHZ

- KRICKMEIER, J.; SCHNÄCKEL, W.; PONGJANYANUKUL, W.; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2012): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 2: Verteilung der notwendigen Arbeiten beim Scheren in Abhängigkeit von maschinen- und rohstoffbedingten Einflüssen.
Fleischwirtschaft 92(1). 88-92
- KRÖCKEL, L. (2008): Mikrobiologische Qualität von verpackten Brühwurst- und Kochschinkenaufschnitt – Aktuelle Untersuchungen.
Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach 47(180). 87-97
- KÜHNE, M. und FELDHUSEN, F. (1994): Schlachtier- und Fleischuntersuchung: Unterlagen für die Studierenden.
Institut für Lebensmittelkunde, Fleischhygiene und -technologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover. 6. Auflage.
- LADIKOS, D. and LOUGOVOIS, V. (1990): Lipid oxidation in muscle foods: A Review.
Food Chemistry 35. 295-314
- LAGERSTEDT, Å.; ENTFÄLT, L.; JOHANSSON, L. and LUNDSTRÖM, K. (2008): Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*.
Meat Science 80. 457-461
- LANARI, M.C.; SCHAEFER, D.M. and SCHELLER, K.K. (1995): Dietary vitamin E supplementation and discoloration of pork bone and muscle following modified atmosphere packaging.
Meat Science 41. 237-250
- LAUBER, P. (2003): Machine for chopping organic cut products.
U.S. Patent 6,644,574 B1
- LAWRIE, R.A. (2006): Lawrie's meat science.
Woodhead Publishing Limited Cambridge
- LEAFLET, A.S. (2008): Factors affecting oxidative stability of pork, beef and chicken meat.
Animal Industry Report R2257. Iowa State University
- LEAFLET, A.S. (2011): Effect of NaCl, Myoglobin, FE(II), and FE(III) on lipid oxidation of raw and cooked chicken breast and loin beef.
Animal Industry Report R2578. Iowa State University
- LEHNER, J. (2008): APA4a-Zerkleinern. APA: Mechanische Verfahrenstechnik.
<http://teaching.eduhi.at/lehnerj>
letzter Zugriff 23.08.2011

- LEISTNER, L. (1986): Allgemeines über Rohwurst.
Fleischwirtschaft 66(6). 290-300
- LEPETIT, J. und CULIOLI, J. (1993): Mechanical properties of meat.
Meat Science 36. 203-237
- LIN, C.S. and ZAYAS, J.F. (1987): Microstructural comparison of meat emulsions prepared with corn protein emulsified and unemulsified fat.
Journal of Food Science 52(2). 267-270
- MACNEIL, J.H.; DIMICK, P.S. and MAST, M.G. (1973): Use of chemical compounds and a rosemary spice extract in quality maintenance of deboned poultry meat.
Journal of Food Science 38. 1080-1081
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F.-M. und STEINER, G. (1992): Lebensmittelanalytik: Grundzüge, Methoden, Anwendungen.
2. Auflage. Springer Verlag Berlin. 4-19, 31-35
- MCGORRY, R.; DOWD, P.C. and DEMPSEY, P.G. (2003): Cutting moments and grip forces in meat cutting operations and the effect of knife sharpness.
Applied Ergonomics 34. 375-382
- MALIKI, W. (1951): Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung.
Chem.-Ing.-Technik 19. 473-476
- MILAN, R. (2011): Über die Zartheit des Fleisches: Ein Vergleich zwischen Rind, Schwein, Geflügel und Kaninchen.
Techlologija mesa 52(1). 172-181
- MONAHAN, F.J.; BUCKLEY, D.J.; GRAY, I.J.; MORRISSEY, P.A.; ASHGAR, A.; HANRAHAN, T.J. and LYNCH, P.B. (1990): Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork.
Meat Science 27. 99-108
- MORLEY, M.J. (1972): Thermal properties of meat: Tabulated data.
Meat Research Institute Special Report 1. MRI. Langford Bristol
- MUNRO, P.A. (1983): The tensile properties of frozen and thawed lean beef.
Meat Science 9. 43-61
- MÜLLER-ESTERL, W. (2004): Biochemie.
1. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag München. 126ff

MÜLLER, C. (2010): Branchenbericht 2009 der Schlacht- und Fleischverarbeitungsbranche.

Gewerkschaft Nahrung-Genuss-Gaststätten Hamburg. 3-5

MÜNCH, S. (2004): Chemie von Fetten und Fettbegleitstoffen.

Fleischwirtschaft 84(4). 163-167

NEUBAUER, T. (2009): Grundbegriffe im Farbmanagement.

<http://www.thone.at/grundbegriffe-im-farbmanagement>

letzter Zugriff 22.10.2013

NEUHÄUSER, S. (1998): Technische Ausrüstungen, Maschinen und Anlagen.

Handbuch Fleisch und Fleischwaren. Kapitel 6.1. Loseblattsammlung. 4. aktualisierte Lieferung 07/98. Behr's Verlag Hamburg. 3

NEWBURG, D.S. and CONCON, J.M. (1980): Malonaldehyde concentrations in food are affected by cooking conditions.

Journal of Food Science 45. 1671-1687

NIELSEN, J.H.; SØRENSEN, B.; SKIBSTED, L.H. and BERTELSEN, G. (1997): Oxidation in pre-cooked minced pork as influenced by chill storage of raw muscle.

Meat Science 46(2). 191-197

NITSCH, P. (2009): Sauerstoff macht Fleisch zäh und ranzig.

Fleischwirtschaft 89(6). 38-40

N.N. (2000): Optimierte Herstellung von Feinbrät. Fa. Inotech GmbH.

Fleischwirtschaft 80(4). 51-52

N.N. (2002a): Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des europäischen Parlaments und Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit.

Kapitel 1. Artikel 2

N.N. (2002b): Fleischhygiene AVVFIH. Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung nach dem Fleischhygienegesetz und dem Geflügelfleischhygienegesetz vom 19. Februar 2002.

Bundesanzeiger 5. März 2002. Jahrgang 54

N.N. (2002c): Fleisch: Informationen für Verbraucher.

Broschüre 06/2003

- N.N. (2003): DIN03: Fertigungstechnisches Zerteilen.
DIN 8588:2003-09. Deutsches Institut für Normung. September 2003
- N.N. (2004): Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des Europäischen Parlaments und Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs.
Anhang I: Begriffsbestimmungen. Anhang III. Abschnitt V: Hackfleisch/Faschiertes, Fleischzubereitungen und Separatorenfleisch
- N.N. (2005): Infodienst Baden-Württemberg.
Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum, Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, Baden-Württemberg. 343-344
- N.N. (2006): Extrusion.
http://www.hevo-plastics.com/html/was_ist_extrusion.html
letzter Zugriff 30.06.2005
- N.N. (2006b): Product information: Ground beef
Module 9. The Beef Checkoff
- N.N. (2006c): LFGB: Lebensmittel, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch (kurz Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch) neu gefasst durch B. v. 26.04.2006 BGB I.I. Seite 945, zuletzt geändert durch Artikel 12 G. v. 26.02.2008 BGB I.I Seite 215, Geltung ab 25.04.2006
- N.N. (2006d): DLG-Qualitätswettbewerb: Prüfbestimmungen für Fleischerzeugnisse (Schinken und Wurst).
49. Auflage. DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. Frankfurt/Main. 21, 23f
- N.N. (2007): Verordnung über Fleisch und Fleischerzeugnisse (Fleisch-Verordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Januar 1982 (BGBl. I S. 89) zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 8. August 2007 (BGBl. I S. 1816)
- N.N. (2009): Extrusion.
<http://schorch.ch/theme/getreide/navi/extrusion.htm>
letzter Zugriff 24.07.2011
- N.N. (2009b): Best practices for raw ground products.
Beef Industry Food Safety Council Executive Committee
- N.N. (2010a): Arbeitsmarkt 2009 - Marktanalyse für Deutschland.
Sondernummer der Amtlichen Nachrichten der Bundesagentur für Arbeit (ANBA).
Bundesagentur für Arbeit Nürnberg. Mai 2010. 12, 160-161

N.N. (2010b): Statistisches Jahrbuch 2010.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden. September 2010. 375-390, 629-642

N.N. (2010c): Leitsätze des Deutschen Lebensmittelbuches für Fleisch und Fleischerzeugnisse vom 27./28.11.1974 (Beilage zum BAnz. Nr. 134 vom 25.07.1975, GMBI Nr. 23 S. 489 vom 25.07.1975), zuletzt geändert am 08.01.2010 (BAnz. Nr. 16 vom 29.01.2010, GMBI Nr. 5/6 S. 120ff vom 04.02.2010).

I Allgemeine Begriffsbestimmungen und Beurteilungsmerkmale

N.N. (2010d): Wölfe für die Industrie – nur von MADO.

Produktbroschüre. MADO GmbH Dornhan

<http://www.mado.de/de/produkte/woelfe-mischwoelfe/industriewoelfe/a/d/mew-727-g160e56/>

letzter Zugriff 12.11.2012

N.N. (2011a): Statistische Wochenberichte: Wirtschaft, Handel und Verkehr - Monatszahlen.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden. 14. KW 2011. 34

N.N. (2011b): Statistische Wochenberichte: Gesamtpaket - Monatszahlen.

Statistisches Bundesamt Wiesbaden. Stand 08.04.2011. 11-21

N.N. (2011c): Zerkleinern.

Technische Universität Dresden. Lehrstuhl für Umform- und Urformtechnik.

http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/iff/lut/studium/skript_ft2_8.pdf

letzter Zugriff 27.10.2012

N.N. (2011d): Tierische Lebensmittel-Hygieneverordnung Tier-LMHV: Verordnung über Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von bestimmten Lebensmitteln tierischen Ursprungs vom 8. August 2007 (BGBl. I S. 1816, 1828) zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. November 2011 (BGBl. I S. 2233).

Anlage 5. Kapitel II: Herstellung und Behandlung von Hackfleisch und Fleischzubereitungen. Kapitel III: Herstellung von Fleischerzeugnissen

N.N. (2011e): Farbmeterik. Teil 4: CIE 1976 L*a*b* Farbenraum.

DIN EN ISO 11664-4. Beuth-Verlag Berlin. letzte Aktualisierung vom Juli 2011

N.N. (2012a): InterMeat 2012: Fleisch und Wurst weiter sehr beliebt!

http://www.intermopro.de/cipp/md_intermcm/custom/pub/content,oid,57720/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/local_lang,1#

letzter Zugriff 09.09.2012

- N.N. (2012b): Brühwürstchen.
Bösinger Fleischwaren GmbH.
<http://www.boesinger.de/sortiment/wurst/bruehwuerstchen.html>
letzter Zugriff 24.11.2012
- N.N. (2012c): pH-Wert.
Deutscher Fachverlag GmbH Frankfurt/Main
<http://www.fleischwirtschaft.de/dokumentation/fachbegriffe/pages/index.prl?currChar=P&currPage=10>
letzter Zugriff 09.09.2012
- OELKER, P. und DEHMLow, R. (1988): Elektronenoptische Beobachtungen über ultrastrukturelle Bedingungen der Fettemulgierung und Wasserbindung in Brühwurstbrät. 3. Zur Theorie der Wasserbindung, Fettemulgierung und Ultrastrukturbildung. Fleischwirtschaft 68(4). 502-507
- OFFER, G. and KNIGHT, P. (1988): The structural basis of water-holding in meat. Part 2: Drip losses. Development in Meat Science 4. Edited by Ralston Lawrie. 173-234
- ÖHMI (2012): Akkreditierungsurkunde DAP-PL-2055.00 nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. ÖHMI GmbH Magdeburg
- OLORUNSANYA, A.O.; OLORUNSANYA, E.O.; ALIU, O.T. and KAYODE, R.M.O. (2009): Effects of different species of pepper (Capsicum) on oxidative stability of raw and cooked pork patties. Pakistan Journal of Nutrition 8(10). 1588-1591
- OMIOR, M. (2005): PSE- und DFD-Fleisch. B1 - Schlachttiere. AID-infodienst
- OMIOR, M. (2010): Fleischqualität. AID-infodienst
- PARDUN, H. (1976): Analyse der Nahrungsfette. Verlag Paul Parey Berlin
- PAYNE, N.N. and RIZVI, S.S.H. (1988): Rheological behavior of comminuted meat batters. Journal of food science 53(1). 70-73, 87

PEARSON, A.M.; BRATZLER, L.J.; DEANS, R.J.; PRICE, J.F.; HOEFER, J.A.; REINEKE, E.P. and LUECKE, R.W. (1956): The use of specific gravity of certain untrimmed pork cuts as a measure of carcass value.

Journal of Animal Science 15. 85

PEARSON, A.M.; LOVE, J.D. and SHORLAND, F.B. (1997): Warmed-over flavour in meat, poultry and fish.

Advances in Food Research 23. 1-74

PEARSON, A.M. (1999): Processed meat.

3. Auflage, Chapman & Hall Food Science Book Aspen. Publication Gaithersburg Maryland. 213-240

PEŁCZYŃSKA, E. und LIBELT, K. (1999): Nährwert von Würsten in Abhängigkeit vom Bindegewebsanteil.

Fleischwirtschaft 79(7). 86-88

PETTERSEN, M.K.; MIELNIK, M.B.; EIE, T.; SKREDE, G. and NILSSON, A. (2004): Lipid Oxidation in frozen, mechanically deboned turkey meat as affected by packaging parameters and storage conditions.

Poultry Science Association. 1240-1248

PIETTE, G. und RAYMOND, Y. (1999): Vergleichende Bewertung verschiedener Methoden: Bestimmung der Ranzigkeit in Fleischprodukten.

Fleischwirtschaft 79(7). 69-73

PILZ, P. (1955): Über spezielle Probleme der Zerkleinerungstechnik von Weichstoffen.

Forschungsbericht 189, Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen. Forschungsinstitut Alexanderwerk AG Remscheid. Westdeutscher Verlag Köln und Opladen. 42

POTTHAST, K. (1981): Chemie der Fette und Fettbegleitstoffe.

Chemie und Physik des Fleisches. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 19-37

PRÄNDL, O.; FISCHER, A.; SCHMIDHOFER, T. und SINELL, H.-J. (1988): Handbuch der Lebensmitteltechnologie: Fleisch - Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung.

Ulmer-Verlag Stuttgart. 188, 332-334, 372-374, 497, 550-563, 609-610, 681-711

RAEUBER, H.-J.; ROßNER, TH. und KIEBLING, I. (1988): Beitrag zur Automatisierung des Garprozesses von Fleisch. 2. Methode zur Bestimmung des optimalen Garpunktes.

Fleischwirtschaft 86(9). 1198-1201

- RAEUBER, H.-J. (1993): Fleisch, Fisch und deren Produkte. Rheologie der Lebensmittel. 1. Auflage, Behr's Verlag Hamburg. 471-501
- RAJENDRAN, TH.; ANJANEYULU, A.S.R. und KONDAIAH, N. (2006): Quality and shelf life evaluation of emulsion and restructured buffalo meat nuggets at cold storage ($4\pm 1^\circ\text{C}$). Meat Science 72. 373-379
- REDE, R. und HAMM, R. (1973): Zur Rheologie des Fleisches. VI. Das thixotrope Verhalten von Modellbräuten. Fleischwirtschaft 53(9). 1279-1285
- REICHERT, E. (1996): Möglichkeiten der automatischen On-Line-Bestimmung von Qualitätsparametern bei der Klassifizierung und Selektion von Schlachttierkörpern und Teilstücken. Fleischwirtschaft 76(5). 486-491
- REUTER, G. (1992): Qualitätssicherung bei der Fleischgewinnung: Technologische Aspekte. Fleischwirtschaft 72(7). 974-980
- RIMBACH, G. (2010): Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger. Springer Verlag Berlin. 65-95
- RING, C. und KORTMANN, R. (1988): Auswirkungen der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen auf die Fleischbeschaffenheit. Fleischwirtschaft 68(3). 259-264
- RIZVI, S.S.H. (1981): Rheological properties of comminuted meat systems. Food Technology 35(5). 238-243
- RÖDEL, W. (1991): Meßgrößen und transportable Meßgeräte für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle. Fleischwirtschaft 71(10). 1168-1175
- ROSENBAUER, H. (2002): Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Dosierungen von DL- α -Tocopherylacetat beim Mastschwein auf die Qualität daraus hergestellter Lebensmittel. Dissertaion. Martin-Luther-Universität Halle/Saale. 33-34, 62-104
- RUST, R.E. (2004): Processing equipment mixing and cutting equipment. Encyclopedia of meat sciences. Elsevier London. 1057-1061

SACKMANN, G.; STOLLE, F.A. und REUTER, G. (1988): Einfluss verschiedener Ruhephasen vor der Schlachtung auf Fleischqualitätsparameter bei Schlachtschweinen mit einer Bewertung klinischer Beurteilungsmerkmale.

Fleischwirtschaft 68(3). 369-375

SACKS, M.S.; KRONICK, P.L. and BUECHLER, P.R. (1988): Contribution of intramuscular connective tissue to the viscoelastic properties of post-rigor bovine muscle.

Journal of Food Science 53. 19-24

SARAVACOS, G.D. and KOSTAROPOULOS, A.E. (2002): Handbook of Food Processing Equipment.

Kluwer Academic/Plenum Publishers New York. 144

SCHARNER, E. und SCHIEFER, G. (1975): Zum Begriff der Fleischqualität und zur Ermittlung einiger der wichtigsten Qualitätsparameter des Schweinefleisches.

Monatsheft für Veterinärmedizin 13. 481-484

SCHARNER, E. (1997): Begriffliches zu den Termini Fleisch und Fleischqualität.

Fleischwirtschaft 77(2). 140-141

SCHNÄCKEL, W. and HAACK, E. (2007): Optimization of meat mincing processes.

Proceedings of the 53rd International Congress of Meat Science and Technology. China Agricultural University Beijing. 487-488

SCHNÄCKEL, W.; MICKLISCH, I.; KRICKMEIER, J. und SCHNÄCKEL, D. (2008): Untersuchungen zur Optimierung von Kuttermessern. 3. Optimierungen der Kuttermesserform zur Herstellung von Brühwürsten.

Fleischwirtschaft 88(6). 96-102

SCHNÄCKEL, W.; KRICKMEIER, J.; OKTAVIANI; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2011a): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 1: Modellierung der Bedingungen beim Schneiden in einer Wolfmaschine.

Fleischwirtschaft 91(7). 83-87

SCHNÄCKEL W.; KRICKMEIER, J.; OKTAVIANI; PONGJANYANUKUL, W. and SCHNAECKEL, D. (2011b): Modelling of mincing process by determination of meat cutting properties through the analysis of Warner-Bratzler curve.

Proceedings of the 57th International Congress of Meat Science and Technology, Ghent Belgium. 268

SCHNÄCKEL, W.; KRICKMEIER, J. and OKTAVIANI (2011c): Determination of meat cutting properties through the analysis of Warner-Bratzler curve.

Fleischwirtschaft International 26(4). 56-61

SCHNÄCKEL, W.; KRICKMEIER, J.; PONGJANYANUKUL, W.; SCHNÄCKEL, D. und MICKLISCH, I. (2012a): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 3: Bestimmung der Eindringenschaften tierischer Gewebe in die Bohrungen einer Lochscheibe beim Wolfen.

Fleischwirtschaft 92(3). 148-153

SCHNÄCKEL, W.; KRICKMEIER, J.; SCHNÄCKEL, D.; MICKLISCH, I. und HAACK, O. (2012b): Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses. Teil 4: Anwendung des Wolfprozesses auf die Feinbrätherstellung.

Fleischwirtschaft 92(7). 91-96

SCHUBERT, H. (2005): Emulgiertechnik: Grundlagen, Verfahren und Anwendungen. Behrs Verlag Hamburg. 85-98

SCHUCHMANN, H.P. UND SCHUCHMANN, H. (2005): Lebensmittelverfahrenstechnik. Wiley-VCH Verlag Weinheim. 46-47

SCHWARZMANN, P. (2008): Thermoformen in der Praxis.

Illig Maschinenbau GmbH&Co Heilbronn. Carl Hanser Verlag München. 204

SCHWÄGELE, F. (1993): Qualitätsmerkmale: Erfassung nach dem Schlachten.

Fleischwirtschaft 73(3). 228-238

SCHWÄGELE, F. (1998): Kühlung, Kühllagerung und Fleischreifung: Chemische und physikalische Grundlagen.

Kühlen, Zerlegen, Kühllagerung, Reifung: Einfluss auf die Fleischqualität. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 7-34

SCHWÄGELE, F. (2003): Struktur und Funktion des Muskels.

Chemie des Lebensmittels Fleisch. 1. Auflage. Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 39-56

SCHWÄGELE, F. (2004): Struktur und Funktion des Muskels.

Fleischwirtschaft 84(4). 171

SEIDLER, D.; BARTNICK, B. und NOWAK, B. (1984): PSE-Diagnostik am Schlachtband.

Fleischwirtschaft 64(12). 1379-1387

SHEARD, P.R.; JOLLEY, P.D.; HALL, L.D. and NEWMAN, P.B. (1989): Technical note: The effect of temperature and raw material on the size distribution of meat particles pre-broken by grinding.

International Journal of Food Science and Technology 24. 421-427

SHEARD, P.R.; JOLLEY, P.D.; MOUNSDON, R.K. and HALL, D. (1990): Factors influencing the particle size distribution of flaked meat. I: Effect of temperature, aperture size and pre-breaking before flaking.

International Journal of Food Science and Technology 25. 483-505

SHAHIDI, F.; SPANIER, A.M.; HO, C.-T. and BRAGGINS, T. (2004): Quality of fresh and processed foods.

Advances in experimental medicine and biology 542. Kluwer Academic/Plenum Publisher New York. 107-109

SHEARD, P.R.; JOLLEY, P.D. and RUSH, P.A.J. (1991a): Effect of temperature on the particle size distribution of flake-cut meat.

International Journal of Food Science and Technology 26. 199-205

SHEARD, P.R.; FOSTER-SMITH, A. and JOLLEY, P.D. (1991b): Factors influencing the particle size distribution of flaked meat. II: Effect of aperture size, number of cutting stations, rotational speed and impeller design.

International Journal of Food Science and Technology 26. 65-81

SIELAFF, H. (1995): Fleischtechnologie.

Behr's Verlag Hamburg. 397-419, 559-569, 585

SIELAFF, H. (1996): Fleischtechnologie.

1. Auflage, Behr's Verlag Hamburg. 49-85

SOKOLOW, A.A. (1980): Strukturmechanische Eigenschaften von Fleisch und Fleischprodukten.

Fleischgewinnung und -verarbeitung: Technologische Grundlagen. VEB Fachbuchverlag Leipzig. 112-163

SPUR, G. (1985): Handbuch der Fertigungstechnik

Band 2/3: Umformen – Zerteilen. Carl Hanser Verlag München. 1388

STIEBING, A. und KRELL, R.A. (1996): Handbuch Fleisch und Fleischwaren.

Behr's Verlag Hamburg. 13. Aktualisierung 2003, Kapitel 6.1. Loseblattsammlung. 3

STIEß, M. (2004): Einführung in die Verfahrenstechnik.

Chinesisch-Deutsche Technische Fakultät Qingdao.

<http://mb-s1.upb.de/steam-cdtf/Verfahrenstechnik/2%20%20Zerkleinerung.pdf>

letzter Zugriff 11.06.2012

STODOLAK, B.; STARZYŃSKA, A.; CZYSZCZOŃ, M. and ŻYŁA, K. (2007): The effect of phytic acid on oxidative stability of Raw and cooked meat.

Food Chemistry 101. 1041-1045

STOYANOV, S.; SCHNÄCKEL, W. und HAACK, O. (2003): Schneidwerkzeuge stabil konstruieren: Festigkeitsberechnungen von Messern und Lochscheiben eines Fleischwolfes.

Fleischwirtschaft 83(8). 39-44

SYROVATSKI, E. (2007): Selbstschärfende Schneidpaare für Fleischwölfe.

Fleischwirtschaft 87(1). 92-97

SYROVATSKI, E. (2008): Experts' quality demands beeing met.

Fleischwirtschaft International 23(2). 22-29

SZCZESNIAK, A.S. (1983): Physical Properties of Food.

Physical Properties of Food. AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut

TÄNDLER, K. (1984): Rohstoffauswahl und Zusammensetzung von Brühwürsten.

Technologie der Brühwurst. Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 40-57

TERNES, W. (2008): Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung.

3. Auflage. Behr's Verlag Hamburg. 408-439, 503-507

TIANGUANG, Z. (2008): Untersuchung der Vorgänge zur Kraftübertragung und Schubkraftenerzeugung bei Fördervorgängen und der Rohstoffbearbeitung in Schneckenmaschinen.

Bachelorarbeit der Hochschule Merseburg (FH). Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften. 06.11.2008. 17-29, 55-58, 68-99

TICHIVANGANA, J.Z. and MORRISSEY, P.A. (1985): Metmyoglobin and inorganic metals as pro-oxidants in raw and cooked muscle systems.

Meat Science 15. 107-116

TIRONI, V.A.; TORNÁS, M.C. and ANON, M.C. (2002): Structural and functional changes in myofibrillar proteins of sea salmon (*Pseudoperca semifasciata*) by interaction with malonaldehyd.

Journal of Food Science 67. 930-935

TOLEDO R.; CABOT, J. and BROWN, D. (1977): Relationship between composition, stability and rheological properties of raw comminuted meat batters.

Journal of Food Science 42(3). 725-727

TOTH, L. und HAMM, R. (1968): Zur Rheologie des Fleisches. III. Messung der Fließgrenze und der Viskosität von Modellbräten mit dem Rotationsviskosimeter.

Fleischwirtschaft 48(12). 1651-1660

TOTH, L. und HAMM, R. (1969): Zur Rheologie des Fleisches. IV. Veränderung der rheologischen Eigenschaften des Fleisches nach dem Schlachten. Fleischwirtschaft 49(5). 637-642

TSCHEUSCHNER, H.-D. (1993): Grundlegende rheologische Eigenschaften: Rheologische Eigenschaften von Lebensmittelsystemen. Rheologie der Lebensmittel. Behr's Verlag Hamburg. 51-100, 101-148

TSCHEUSCHNER, H.-D. (1996): Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 2. Auflage. Behr's Verlag Hamburg. 238-242, 505f

TSCHEUSCHNER, H.-D. (2004): Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 3. Auflage. Behr's Verlag Hamburg. 49-54, 144, 151-201, 238-266, 505f

ULFIG, N. (2005): Kurzlehrbuch Histologie. 2. Auflage. Thieme Verlag Stuttgart. 41

VOISEY, P.W.; RANDALL, C.J. and LARMOND, E. (1975a): Selection of an objective test of wiener texture by sensory analysis. Journal of the Canadian Institute for Food Science Technology 8. 23-29

VOISEY, P.W. (1975b): Engineering assessment and critique of instruments used for meat tenderness evaluation. Journal of Texture Studies 7. 11-48

WARNECKE, H.-W.; HAACK, E.; WEISE, C.; KRACH, H. und MEISTER, B. (1999): Der doppelte Trennsatz „Duo Separat“ der Firma MADO im Einsatz an den Wölfen Ultra MEW 725 und Industriewolf MEW 627. Fleischwirtschaft 79(1). 107-109

WECK, M. und BECHER, CH. (2005): Werkzeugmaschinen: Maschinenarten und Anwendungsbereiche. Springer Verlag Berlin. 123

WEIPERT, D., TSCHEUSCHNER, H.-D. und WINDHAB, E. (1993): Rheologie der Lebensmittel. Behr's Verlag Hamburg. 40, 152-163, 478-489

WEISS, J.; GIBIS, M.; SCHUH, V. and SALMINEN, H. (2010): Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. Meat Science 86. 196-213

WELSCH, U. (2006): Lehrbuch Histologie. 2. Auflage. Urban & Fischer Verlag München. 118-121

WENZEL, S. (1989): Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Vermarktung von Qualitätsfleisch.
Züchtungskunde 61(4). 253-254

WESTPHAL, K. (2002): Praktische Beispiele für die Qualitätsprüfung an Fleisch und Fleischerzeugnissen.
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Fachbereich Landwirtschaftliche Untersuchungen.
[http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/cmsloel/fileadmin/Dateien/Professor/Martin Waehner/Downloads/Produktkunde/EinfuehrungFleischqualitaet.pdf](http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/cmsloel/fileadmin/Dateien/Professor/Martin_Waehner/Downloads/Produktkunde/EinfuehrungFleischqualitaet.pdf)
letzter Zugriff 23.07.2012

WIESER, M.-L. S. (2010): Vergleichende physikalische Farbmessung und sensorische Farbbeurteilung unter verschiedenen Beleuchtungssystemen an ausgewählten Brühwurstprodukten im Hinblick auf eine objektive Qualitätskontrolle in der Lebensmittelüberwachung.
Dissertation an der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. 21-34

WIRTH, F. (1972): Die technologische Funktion der Fette in feinzerkleinerten Fleischwaren.
Fleischwirtschaft 52(5). 605-609

WIRTH, F. (1973): Vakuumküttern bei Brüh- und Kochwurst auch im Handwerksbetrieb?
Fleischwirtschaft 53(8). 1080-1084

WIRTH, F. (1984): Rohstoffauswahl und Zusammensetzung von Brühwürsten.
Technologie der Brühwurst. Institut für Technologie der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach. 60-79, 121

WIRTH, F. (1990): Salzen und Pökeln von Fleischerzeugnissen.
AID Verbraucherdienst 35. Heft 7. AID e.V.

WOLFSCHMIDT, M. (2010): Fleischmarkt unterm Sauerstoffzelt.
Foodwatch e.V. Berlin. August

ZHAO, Y. and SEBRANEK, J.G. (1997): Technology for meat-grinding systems to improve removal of hard particles from ground meat.
Meat Science 45(3). 389-403

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C.....	201
Anhang 2:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 0°C.....	202
Anhang 3:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von -4°C.....	203
Anhang 4:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 2 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C.....	204
Anhang 5:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Rindermuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C.....	205
Anhang 6:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Putenmuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C.....	206
Anhang 7:	Einzel­daten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm ²) Arbeiten beim Scheren von Schweinefett an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s.....	207

-
- Anhang 8: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)208
- Anhang 9: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)209
- Anhang 10: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)210
- Anhang 11: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)211
- Anhang 12: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)212
- Anhang 13: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)213
- Anhang 14: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)214

-
- Anhang 15: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)215
- Anhang 16: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)216
- Anhang 17: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss).....217
- Anhang 18: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss)218
- Anhang 19: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss).....218
- Anhang 20: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss)219
- Anhang 21: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss).....220
- Anhang 22: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss).....221

-
- Anhang 23: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss).....222
- Anhang 24: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss).....223
- Anhang 25: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 4 mm (Df = Durchfluss).....224
- Anhang 26: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss).....225
- Anhang 27: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss).....226
- Anhang 28: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss).....227
- Anhang 29: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss).....228
- Anhang 30: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss).....229

-
- Anhang 31: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss).....230
- Anhang 32: Einzeldaten für den pH-Wert der verwendeten Rohstoffe für die Serien der Technikumversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter.....231
- Anhang 33: Einzeldaten für den pH-Wert der in den Serien der Technikumversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste.....232
- Anhang 34: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für die sensorische Qualität der Bockwurst (Kaltverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten hergestellten Wurstbrät in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz.....235
- Anhang 35: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften von mit dem Feinbräutomaten hergestelltem Wurstbrät in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz.....236
- Anhang 36: Einzeldaten für die Verarbeitungsbedingungen im Emulgiersatz zur Ableitung der mathematischen Kennlinie zur Herstellung von Würsten mit sensorisch guter Qualität, hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten hergestellten Wurstbrät.....237
- Anhang 37: Einzeldaten für den Gesamtwasser- und Fettgehalt in der Probe (%) der mit dem Feinbräutomaten hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten.....238
- Anhang 38: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für Aussehen, Farbe, Zusammensetzung für sensorisch gute und schlechte Qualitäten der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbrät.....239

Anhang 39: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für Konsistenz für sensorisch gute und schlechte Qualitäten der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbrät.....	240
Anhang 40: Einzeldaten für die Farbkennwerte L, a und b der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten.....	241
Anhang 41: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften ES (%) und WBV (%) der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten.....	244
Anhang 42: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Textur der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten.....	245
Anhang 43: Mittlerer Druck (bar, mit Standardabweichungen) der vorzerkleinerten Rohstoffe vor Eintritt in den Emulgiersatz des Feinbräutomaten bei der Herstellung von Bockwürsten mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten.....	248
Anhang 44: Einzeldaten für den TBARS-Gehalt für die mit dem Feinbräutomaten hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat bzw. Kutter über die Lagerzeit.....	248
Anhang 45: pH-Wert für die mit dem Feinbräutomaten hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbräutomat bzw. Kutter zu Beginn und am Ende der Lagerzeit.....	249
Anhang 46: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften WBV (%) und die ES (%) der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken.....	249

Anhang 47: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Brätendtemperatur (°C) und Temperaturdifferenz (K) der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte im Vergleich der Verarbeitungstechniken.....	250
Anhang 48: Abbildung zur Druckentwicklung der vorzerkleinerten Rohstoffe vor Eintritt in den Emulgiersatz des Feinbräutomaten.....	251
Anhang 49: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Textur und PH der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter hergestellten Wurstbräte und Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken.....	252
Anhang 50: Einzeldaten für die Farbkennwerte L, a und b der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken.....	253
Anhang 51: Darstellung des als Orientierung für die „Einfach beschreibende Prüfung“ herangezogenen Prüfschemas der DLG (N.N., 2006d).....	254
Anhang 52: Einzeldaten für den Gesamtwasser- und Fettgehalt in der Probe (%) der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken.....	255

Anhang 1: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	59,73	13,62	26,65	27,35	6,24	12,20	45,79
	25,90	17,30	56,80	7,23	4,83	15,85	27,91
	48,07	10,93	41,00	24,98	5,68	21,31	51,97
	52,87	10,77	36,36	19,04	3,88	13,09	36,01
	36,35	23,54	40,11	12,61	8,17	13,92	34,71
	41,02	20,74	38,24	14,67	7,42	13,68	35,77
	36,35	23,47	40,19	12,61	8,15	13,95	34,71
	41,02	20,74	38,24	14,67	7,42	13,68	35,77
	36,35	23,54	40,11	12,61	8,17	13,92	34,71
	41,02	20,74	38,24	14,67	7,42	13,68	35,77
q	36,50	33,93	29,56	8,48	7,89	6,87	23,24
	41,61	17,78	40,60	20,15	8,61	19,66	48,41
	33,33	22,09	44,58	10,03	6,64	13,41	30,08
	27,91	46,41	25,68	7,68	12,77	7,06	27,52
	34,82	25,66	39,52	9,88	7,28	11,21	28,36
	34,28	31,50	34,21	7,08	6,51	7,07	20,66
	29,66	37,07	33,26	8,61	10,76	9,65	29,01
	31,05	21,30	47,65	10,93	7,50	16,77	35,19
	21,63	54,39	23,98	6,95	17,48	7,71	32,14
	31,05	21,30	47,65	10,93	7,50	16,77	35,19
s	27,56	36,08	36,36	7,59	9,93	10,01	27,52
	31,92	30,27	37,81	7,94	7,53	9,41	24,88
	20,72	36,61	42,67	5,45	9,64	11,23	26,32
	31,92	30,27	37,81	7,94	7,53	9,41	24,88
	21,61	39,54	38,85	5,41	9,89	9,72	25,02
	19,76	51,20	29,04	4,21	10,91	6,19	21,31
	19,92	42,89	37,19	3,61	7,78	6,74	18,13
	21,85	48,03	30,11	4,31	9,47	5,94	19,72
	25,85	48,30	25,85	5,64	10,54	5,64	21,82
	29,23	35,96	34,81	7,21	8,87	8,58	24,66

Anhang 2: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 0°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	25,13	12,82	62,06	22,60	11,53	55,83	89,96
	34,80	13,71	51,49	30,19	11,89	44,67	86,76
	33,35	12,66	53,98	19,55	7,42	31,64	58,61
	29,01	12,59	58,39	16,77	7,28	33,74	57,79
	33,99	14,90	51,12	18,88	8,28	28,39	55,55
	35,87	13,92	50,21	20,55	7,98	28,77	57,30
	32,98	10,62	56,41	16,71	5,38	28,59	50,68
	23,52	9,87	66,62	13,43	5,64	38,05	57,12
	25,13	12,82	62,06	22,60	11,53	55,83	89,96
	34,80	13,71	51,49	30,19	11,89	44,67	86,76
q	27,52	32,28	40,20	10,02	11,76	14,64	36,42
	25,87	23,77	50,36	7,78	7,15	15,15	30,08
	23,65	18,84	57,51	9,04	7,20	21,99	38,24
	20,23	16,39	63,38	7,36	5,97	23,07	36,40
	31,28	20,43	48,29	12,45	8,13	19,21	39,78
	25,88	21,64	52,47	7,89	6,60	15,99	30,48
	31,27	22,75	45,99	7,38	5,37	10,86	23,62
	18,05	19,18	62,77	9,23	9,81	32,09	51,13
	30,65	23,78	45,57	7,94	6,16	11,81	25,91
	21,62	20,00	58,38	9,56	8,84	25,82	44,22
s	23,95	25,78	50,27	6,59	7,09	13,83	27,51
	22,66	34,89	42,45	5,93	9,13	11,10	26,16
	20,89	25,50	53,61	5,13	6,26	13,16	24,55
	31,73	26,89	41,39	11,19	9,48	14,59	35,26
	23,88	24,20	51,93	7,87	7,98	17,12	32,97
	21,36	21,57	57,08	10,31	10,41	27,56	48,28
	28,10	29,93	41,98	7,35	7,83	10,99	26,18
	31,11	30,75	38,15	6,93	6,85	8,50	22,28
	28,25	17,95	53,80	7,40	4,70	14,08	26,18
	29,09	22,53	48,38	8,28	6,42	13,78	28,48

Anhang 3: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von -4°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	19,96	7,01	73,03	16,65	5,85	60,93	83,43
	32,72	10,24	57,04	15,80	4,94	27,55	48,29
	24,54	10,18	65,27	22,27	9,24	59,24	90,75
	22,01	7,14	70,85	18,03	5,85	58,03	81,91
	19,48	7,28	73,24	15,92	5,95	59,85	81,72
	17,48	5,06	77,46	14,33	4,15	63,50	81,99
	38,42	7,61	53,96	21,57	4,27	30,29	56,13
	18,08	7,55	74,37	19,19	8,01	78,93	106,13
	23,52	10,67	65,81	20,95	9,50	58,62	89,07
	17,89	8,28	73,83	11,76	5,44	48,53	65,74
q	16,76	16,86	66,38	7,35	7,39	29,10	43,83
	8,88	13,50	77,63	5,26	7,99	45,97	59,22
	16,36	8,20	75,44	7,93	3,98	36,58	48,49
	11,37	7,18	81,45	7,14	4,51	51,14	62,79
	19,37	7,79	72,83	11,49	4,62	43,20	59,31
	28,52	11,54	59,94	12,61	5,10	26,50	44,21
	18,26	10,47	71,27	9,72	5,57	37,94	53,23
	17,28	10,41	72,31	7,93	4,78	33,18	45,88
	20,92	9,44	69,64	6,62	2,99	22,05	31,65
	19,34	5,83	74,83	8,51	2,56	32,92	43,99
s	15,06	16,67	68,27	6,19	6,86	28,09	41,14
	19,74	11,96	68,29	10,16	6,15	35,13	51,44
	25,71	16,01	58,28	12,18	7,59	27,61	47,38
	18,67	11,97	69,36	6,49	4,16	24,11	34,76
	17,29	11,29	71,42	11,19	7,31	46,24	64,74
	12,59	12,30	75,11	6,93	6,77	41,36	55,06
	23,39	16,50	60,11	11,07	7,81	28,43	47,31
	21,28	16,10	62,63	7,33	5,54	21,57	34,44
	20,67	16,57	62,76	7,41	5,94	22,50	35,86
	37,81	19,91	42,28	9,43	4,97	10,55	24,94

Anhang 4: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Schweinemuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 2 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	16,36	46,54	37,10	6,48	18,42	14,68	39,58
	35,42	44,65	19,94	9,95	12,54	5,60	28,08
	35,42	44,65	19,94	9,95	12,54	5,60	28,08
	46,49	38,63	14,88	17,16	14,26	5,50	36,92
	30,13	41,41	28,46	8,69	11,94	8,21	28,83
	29,70	37,46	32,84	11,27	14,22	12,46	37,96
	43,78	18,65	37,57	14,23	6,06	12,21	32,49
	30,13	41,41	28,46	8,69	11,94	8,21	28,83
	26,03	20,84	53,13	12,77	10,22	26,07	49,06
	31,29	34,44	34,27	8,63	9,49	9,45	27,57
q	37,52	29,75	32,73	12,40	9,83	10,82	33,06
	31,83	29,12	39,05	8,33	7,62	10,22	26,16
	42,35	29,10	28,55	11,77	8,09	7,94	27,80
	42,59	31,52	25,89	11,60	8,59	7,05	27,24
	39,71	33,71	26,58	6,28	5,33	4,20	15,81
	42,31	46,88	10,81	7,94	8,80	2,03	18,76
	59,21	14,95	25,83	24,78	6,26	10,81	41,85
	22,11	43,28	34,61	9,07	17,75	14,19	41,01
	27,61	56,27	16,13	5,01	10,21	2,93	18,15
	34,73	41,57	23,70	6,22	7,44	4,24	17,90
s	34,24	32,91	32,85	7,77	7,47	7,45	22,68
	24,44	48,10	27,46	3,35	6,59	3,76	13,70
	22,12	55,80	22,07	3,08	7,77	3,07	13,92
	17,70	33,34	48,96	2,71	5,10	7,49	15,30
	36,30	30,47	33,23	8,23	6,91	7,53	22,68
	34,85	47,32	17,82	4,78	6,49	2,44	13,71
	59,75	33,71	6,54	7,52	4,24	0,82	12,59
	35,34	36,99	27,68	4,70	4,92	3,68	13,30
	36,78	37,61	25,61	5,13	5,25	3,57	13,96
	28,53	48,17	23,31	5,42	9,14	4,42	18,98

Anhang 5: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Rindermuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	42,66	33,22	24,12	13,00	10,12	7,35	30,48
	25,77	27,49	46,74	7,44	7,93	13,49	28,86
	13,77	38,01	48,23	5,41	14,93	18,95	39,28
	17,77	21,00	61,24	5,21	6,15	17,94	29,30
	19,54	23,06	57,40	4,77	5,63	14,01	24,40
	45,21	24,86	29,93	16,81	9,24	11,13	37,19
	23,68	21,45	54,87	6,55	5,93	15,18	27,66
	13,93	35,22	50,85	4,18	10,55	15,24	29,97
	31,46	38,23	30,31	4,77	5,80	4,60	15,16
	28,85	21,74	49,40	11,97	9,02	20,50	41,49
q	38,45	25,55	36,00	11,79	7,84	11,04	30,68
	38,64	26,05	35,31	8,16	5,50	7,46	21,12
	19,57	25,49	54,94	6,91	9,01	19,41	35,33
	37,65	30,91	31,43	13,16	10,80	10,99	34,95
	45,04	22,81	32,15	10,30	5,22	7,35	22,87
	16,48	19,10	64,42	4,69	5,43	18,32	28,43
	22,29	49,45	28,27	4,10	9,10	5,20	18,41
	48,00	10,52	41,49	14,83	3,25	12,82	30,90
	34,73	23,02	42,25	11,14	7,38	13,55	32,07
	42,56	29,58	27,85	12,21	8,48	7,99	28,68
s	26,47	27,12	46,41	5,36	5,49	9,39	20,23
	27,17	28,00	44,83	10,51	10,83	17,34	38,69
	16,55	41,49	41,97	6,31	15,82	16,01	38,14
	17,21	24,71	58,09	6,08	8,73	20,53	35,35
	24,14	29,12	46,74	10,34	12,48	20,02	42,84
	28,53	25,43	46,04	8,49	7,57	13,70	29,76
	28,17	34,94	36,89	8,12	10,07	10,63	28,81
	37,41	32,59	30,00	8,73	7,61	7,00	23,35
	35,22	36,96	27,82	9,04	9,49	7,14	25,67
	50,04	19,55	30,41	13,20	5,16	8,02	26,37

Anhang 6: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Putenmuskel an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit 20 mm/s und einer Verarbeitungstemperatur von 4°C

Faserausrichtung	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
l	29,62	24,46	45,92	6,24	5,15	9,68	21,07
	31,84	14,95	53,22	4,83	2,27	8,07	15,17
	37,72	17,00	45,28	5,94	2,68	7,13	15,75
	32,84	25,52	41,64	5,53	4,29	7,01	16,82
	30,03	32,14	37,83	5,00	5,35	6,30	16,65
	27,59	24,18	48,23	5,17	4,53	9,04	18,75
	32,71	15,67	51,62	4,90	2,35	7,74	14,99
	43,40	16,61	39,99	4,01	1,53	3,70	9,24
	44,67	19,66	35,67	5,63	2,48	4,50	12,61
	46,36	17,17	36,46	5,73	2,12	4,50	12,35
q	41,40	19,28	39,33	3,20	1,49	3,04	7,73
	33,29	29,55	37,16	3,71	3,30	4,15	11,16
	52,20	11,55	36,25	5,98	1,32	4,16	11,46
	45,60	10,44	43,96	4,84	1,11	4,67	10,62
	35,71	22,15	42,15	5,64	3,50	6,65	15,79
	37,62	17,52	44,85	4,66	2,17	5,56	12,40
	37,76	15,21	47,03	2,76	1,11	3,43	7,30
	39,52	11,05	49,43	2,45	0,69	3,07	6,20
	40,03	17,68	42,29	3,23	1,43	3,41	8,07
	29,18	17,97	52,86	3,24	2,00	5,88	11,12
s	33,13	24,24	42,63	4,31	3,16	5,55	13,02
	26,53	29,36	44,11	4,69	5,19	7,80	17,68
	29,58	19,47	50,96	3,75	2,47	6,45	12,67
	29,38	33,44	37,18	3,47	3,95	4,39	11,81
	29,07	32,70	38,23	3,99	4,49	5,25	13,72
	30,98	32,55	36,47	4,88	5,13	5,74	15,75
	26,93	20,29	52,78	3,28	2,47	6,44	12,19
	27,56	26,55	45,89	3,44	3,32	5,73	12,49
	31,84	16,94	51,22	3,68	1,96	5,91	11,55
	29,87	15,87	54,26	4,00	2,12	7,26	13,38

Anhang 7: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen (%) und absoluten (Nm/cm²) Arbeiten beim Scheren von Schweinefett an einer Lochscheibenbohrung bei einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s

Verarbeitungstemperatur (°C)	Arbeit (%) von Gesamt			Arbeit (Ncm/cm ²)			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Kompression	Reibung	Zerstörung	Gesamt
4	21,88	12,30	65,82	8,14	4,58	24,50	37,22
	19,37	18,51	62,12	9,03	8,63	28,96	46,63
	16,32	9,99	73,69	8,61	5,27	38,88	52,77
	27,96	8,47	63,57	9,52	2,88	21,65	34,05
	24,12	6,52	69,36	8,40	2,27	24,15	34,82
	24,45	7,68	67,87	13,00	4,08	36,09	53,17
	28,12	9,06	62,82	10,18	3,28	22,76	36,22
	27,71	5,57	66,72	9,10	1,83	21,92	32,86
	25,56	18,71	55,73	9,20	6,74	20,06	36,00
	22,01	10,89	67,10	11,17	5,53	34,04	50,74
0	20,00	6,36	73,64	14,87	4,73	54,75	74,35
	22,17	20,54	57,30	14,40	13,34	37,23	64,98
	21,14	3,87	74,98	10,94	2,00	38,78	51,72
	23,75	3,72	72,54	14,78	2,31	45,14	62,23
	23,71	4,09	72,20	16,05	2,77	48,88	67,70
	18,77	7,15	74,08	13,02	4,96	51,39	69,37
	21,42	4,49	74,09	12,32	2,58	42,61	57,51
	20,83	4,94	74,23	15,38	3,65	54,80	73,82
	22,87	3,77	73,35	14,87	2,45	47,71	65,03
	29,59	5,24	65,17	17,85	3,16	39,33	60,35
-4	22,51	3,49	74,00	23,06	3,57	75,79	102,42
	39,56	4,37	56,07	36,46	4,02	51,68	92,16
	33,49	2,29	64,22	27,26	1,86	52,27	81,39
	26,69	4,00	69,31	29,06	4,35	75,46	108,87
	27,87	2,55	69,58	29,68	2,71	74,08	106,47
	29,13	3,81	67,06	27,83	3,64	64,07	95,54
	16,89	2,43	80,68	17,26	2,48	82,47	102,21
	25,47	2,35	72,18	21,42	1,98	60,70	84,10
	17,90	2,67	79,43	15,73	2,35	69,77	87,84
	29,50	4,73	65,77	22,11	3,54	49,29	74,94

Anhang 8: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	23,00	21,17	34,41	21,42
	19,57	16,26	26,43	37,74
	23,72	20,47	33,27	22,54
	17,91	14,81	24,07	43,21
	23,08	12,15	19,75	45,02
	23,69	16,03	26,06	34,22
	24,74	19,41	31,54	24,31
	30,14	15,36	24,96	29,54
	28,60	20,96	34,07	16,36
	29,38	19,67	31,97	18,97
4,5	23,07	31,12	27,25	18,55
	25,20	29,10	25,48	20,21
	15,33	19,39	16,98	48,30
	20,81	31,75	27,81	19,63
	22,60	29,08	25,47	22,85
	18,84	23,02	20,16	37,98
	43,65	20,72	18,15	17,48
	48,21	17,71	15,51	18,57
	25,41	38,12	33,38	3,09
	46,03	17,27	15,13	21,57
6	17,61	23,71	17,66	41,02
	16,89	15,75	11,73	55,63
	56,15	15,07	11,22	17,56
	12,68	22,91	17,07	47,35
	17,79	22,67	16,89	42,65
	40,17	15,47	11,52	32,85
	27,16	30,65	22,84	19,35
	51,01	19,23	14,33	15,42
	47,26	18,15	13,52	21,07
	48,19	16,39	12,21	23,21

Anhang 9: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (Ncm/cm ²)				
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung	Gesamt
3	7,75	7,13	11,60	7,22	33,70
	8,59	7,13	11,60	16,56	43,87
	8,27	7,13	11,60	7,85	34,85
	8,63	7,13	11,60	20,82	48,18
	13,55	7,13	11,60	26,44	58,72
	10,54	7,13	11,60	15,23	44,50
	9,10	7,13	11,60	8,94	36,76
	14,00	7,13	11,60	13,73	46,46
	9,74	7,13	11,60	5,57	34,03
	10,66	7,13	11,60	6,88	36,27
4,5	9,82	13,24	11,60	7,89	42,55
	11,47	13,24	11,60	9,20	45,50
	10,47	13,24	11,60	32,99	68,29
	8,68	13,24	11,60	8,19	41,70
	10,29	13,24	11,60	10,40	45,53
	10,84	13,24	11,60	21,84	57,52
	27,89	13,24	11,60	11,17	63,90
	36,05	13,24	11,60	13,88	74,77
	8,83	13,24	11,60	1,07	34,74
	35,29	13,24	11,60	16,53	76,66
6	11,56	15,57	11,60	26,94	65,66
	16,69	15,57	11,60	54,98	98,82
	58,02	15,57	11,60	18,14	103,32
	8,61	15,57	11,60	32,17	67,94
	12,21	15,57	11,60	29,28	68,66
	40,42	15,57	11,60	33,06	100,64
	13,79	15,57	11,60	9,82	50,78
	41,28	15,57	11,60	12,48	80,92
	40,52	15,57	11,60	18,07	85,76
	45,76	15,57	11,60	22,04	94,96

Anhang 10: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	26,33	19,80	25,01	28,85
	25,64	25,82	32,62	15,92
	24,70	27,79	35,12	12,39
	18,29	24,02	30,35	27,34
	26,57	29,40	37,15	6,88
	23,00	17,70	22,36	36,95
	17,64	22,98	29,03	30,36
	18,77	17,16	21,68	42,40
	23,08	22,39	28,29	26,23
	9,24	19,81	25,04	45,91
4,5	22,41	38,10	29,62	9,88
	16,67	21,70	16,87	44,77
	24,66	42,07	32,70	0,57
	28,12	26,46	20,57	24,86
	21,00	30,07	23,37	25,56
	52,40	24,04	18,68	4,87
	Df	Df	Df	Df
	36,67	24,60	19,12	19,60
	20,29	35,95	27,95	15,81
	14,76	31,00	24,10	30,15
6	44,17	22,12	12,06	21,66
	52,37	22,26	12,13	13,24
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	33,96	41,10	22,40	2,54
	Df	Df	Df	Df
	27,94	31,01	16,90	24,15
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df

Anhang 11: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Verkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (Ncm/cm ²)				
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung	Gesamt
3	12,21	9,18	11,60	13,38	46,36
	9,11	9,18	11,60	5,66	35,54
	8,16	9,18	11,60	4,09	33,02
	6,99	9,18	11,60	10,45	38,20
	8,29	9,18	11,60	2,15	31,21
	11,93	9,18	11,60	19,16	51,86
	7,05	9,18	11,60	12,13	39,94
	10,04	9,18	11,60	22,68	53,49
	9,46	9,18	11,60	10,75	40,99
	4,28	9,18	11,60	21,26	46,32
4,5	8,77	14,92	11,60	3,87	39,15
	11,46	14,92	11,60	30,78	68,75
	8,75	14,92	11,60	0,20	35,46
	15,85	14,92	11,60	14,02	56,38
	10,42	14,92	11,60	12,68	49,61
	32,52	14,92	11,60	3,02	62,06
	Df	Df	Df	Df	Df
	22,24	14,92	11,60	11,89	60,64
	8,42	14,92	11,60	6,56	41,49
	7,10	14,92	11,60	14,51	48,12
6	42,48	21,27	11,60	20,83	96,17
	50,05	21,27	11,60	12,65	95,57
	Df	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df	Df
	17,58	21,27	11,60	1,32	51,76
	Df	Df	Df	Df	Df
	19,17	21,27	11,60	16,57	68,60
	Df	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df	Df

Anhang 12: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	17,34	25,19	20,66	36,81
	21,67	39,76	32,62	5,96
	30,18	27,10	22,23	20,49
	9,47	27,74	22,75	40,03
	23,76	25,18	20,66	30,40
	19,08	26,02	21,35	33,56
	18,38	28,96	23,76	28,89
	20,59	36,72	30,12	12,56
	21,86	39,40	32,32	6,42
	23,66	38,09	31,25	7,00
	4,5	Df	Df	Df
23,77		30,80	16,26	29,17
Df		Df	Df	Df
10,96		22,74	12,00	54,30
17,31		35,69	18,84	26,62
Df		Df	Df	Df
25,86		49,03	25,88	0,76
17,68		38,56	20,35	23,41
19,85		51,74	27,31	1,09
19,47		40,07	21,15	19,30
6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df

Anhang 13: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Verkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (Ncm/cm ²)				
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung	Gesamt
3	9,73	14,14	11,60	20,66	56,12
	7,70	14,14	11,60	2,12	35,55
	15,74	14,14	11,60	10,69	52,16
	4,83	14,14	11,60	20,40	50,96
	13,34	14,14	11,60	17,06	56,13
	10,36	14,14	11,60	18,23	54,32
	8,97	14,14	11,60	14,10	48,80
	7,93	14,14	11,60	4,84	38,49
	7,84	14,14	11,60	2,30	35,88
	8,78	14,14	11,60	2,60	37,11
4,5	Df	Df	Df	Df	Df
	16,95	21,97	11,60	20,80	71,32
	Df	Df	Df	Df	Df
	10,59	21,97	11,60	52,45	96,60
	10,66	21,97	11,60	16,63	61,55
	Df	Df	Df	Df	Df
	11,58	21,97	11,60	0,34	44,81
	10,07	21,97	11,60	13,34	56,97
	8,43	21,97	11,60	0,46	42,45
	10,67	21,97	11,60	10,58	54,81
6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df

Anhang 14: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	19,70	24,61	36,82	18,87
	16,54	19,46	29,12	34,88
	18,02	20,16	30,16	31,66
	19,35	22,19	33,20	25,26
	17,61	23,83	35,66	22,90
	12,67	19,82	29,65	37,86
	11,48	15,91	23,81	48,79
	11,26	14,42	21,58	52,74
	17,07	25,32	37,89	19,73
	18,45	25,59	38,29	17,66
4,5	18,04	27,72	33,45	20,79
	17,71	15,68	18,92	47,68
	16,10	22,58	27,25	34,07
	9,99	15,99	19,30	54,72
	13,80	17,85	21,53	46,82
	19,21	13,64	16,46	50,68
	8,88	12,14	14,64	64,34
	18,65	13,75	16,58	51,02
	15,87	14,55	17,56	52,02
	22,30	16,23	19,58	41,89
6	19,87	23,49	15,87	40,76
	23,48	24,83	16,78	34,92
	43,09	14,03	9,48	33,40
	18,54	31,05	20,98	29,44
	16,31	32,87	22,21	28,62
	17,87	30,61	20,68	30,84
	24,28	18,12	12,24	45,36
	18,40	26,02	17,58	37,99
	14,52	21,51	14,54	49,43
	17,73	23,25	15,71	43,30

Anhang 15: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Verkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (Ncm/cm ²)				
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung	Gesamt
3	6,21	7,75	11,60	5,94	31,49
	6,59	7,75	11,60	13,89	39,82
	6,93	7,75	11,60	12,17	38,45
	6,76	7,75	11,60	8,82	34,92
	5,72	7,75	11,60	7,44	32,51
	4,95	7,75	11,60	14,80	39,10
	5,59	7,75	11,60	23,76	48,70
	6,05	7,75	11,60	28,35	53,74
	5,22	7,75	11,60	6,04	30,61
	5,59	7,75	11,60	5,35	30,28
4,5	6,26	9,61	11,60	7,21	34,67
	10,86	9,61	11,60	29,22	61,29
	6,85	9,61	11,60	14,50	42,56
	6,00	9,61	11,60	32,89	60,09
	7,43	9,61	11,60	25,22	53,86
	13,53	9,61	11,60	35,70	70,44
	7,03	9,61	11,60	50,95	79,19
	13,04	9,61	11,60	35,67	69,92
	10,48	9,61	11,60	34,35	66,04
	13,21	9,61	11,60	24,81	59,22
6	14,52	17,16	11,60	29,78	73,06
	16,23	17,16	11,60	24,13	69,12
	52,71	17,16	11,60	40,86	122,33
	10,25	17,16	11,60	16,27	55,28
	8,52	17,16	11,60	14,94	52,22
	10,02	17,16	11,60	17,29	56,07
	23,00	17,16	11,60	42,97	94,73
	12,14	17,16	11,60	25,05	65,95
	11,59	17,16	11,60	39,43	79,78
	13,08	17,16	11,60	31,96	73,80

Anhang 16: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	27,35	22,77	35,52	14,37
	18,44	19,37	30,22	31,98
	28,71	25,49	39,77	6,03
	26,09	25,61	39,95	8,35
	Df	Df	Df	Df
	14,12	20,63	32,19	33,06
	17,78	21,98	34,29	25,94
	21,02	18,30	28,55	32,13
	10,93	15,66	24,42	48,99
	Df	Df	Df	Df
4,5	24,25	28,84	19,40	27,51
	23,21	44,44	29,89	2,47
	17,14	31,18	20,97	30,72
	32,90	24,76	16,65	23,65
	25,66	45,07	30,31	1,04
	39,78	26,66	17,93	15,63
	45,33	27,05	18,19	9,42
	Df	Df	Df	Df
	25,16	25,52	17,16	32,15
	Df	Df	Df	Df
6	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	17,51	37,07	16,82	28,59
	22,40	28,11	12,76	36,74
	48,74	30,08	13,65	7,53
	Df	Df	Df	Df
	Df	Df	Df	Df
	55,54	29,92	13,58	0,96

Anhang 17: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Schweinemuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
	Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
3	9,39	23,72	25,64	41,26
	29,55	22,98	24,83	22,64
	19,11	28,51	30,82	21,56
	16,49	23,67	25,59	34,25
	15,26	24,86	26,87	33,02
	18,36	25,17	27,20	29,27
	21,74	32,63	35,27	10,35
	16,37	22,41	24,22	37,00
	21,95	21,85	23,62	32,58
	24,27	18,19	19,66	37,87
	4,5	30,79	27,28	16,58
14,23		39,56	24,04	22,16
10,76		24,80	15,07	49,37
40,30		23,68	14,39	21,64
16,71		30,77	18,70	33,81
Df		Df	Df	Df
17,44		36,06	21,92	24,58
13,85		24,25	14,74	47,15
18,70		34,05	20,70	26,55
16,46		28,56	17,36	37,62
6		alle Df	alle Df	alle Df

Anhang 18: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss)

Bohrungsdurchmesser Lochscheibe (mm)	Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
		Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
5	3	Df	Df	Df	Df
		Df	Df	Df	Df
		42,70	17,69	14,13	25,48
		34,00	14,14	11,30	40,55
		20,40	14,88	11,89	52,83
		21,39	13,65	10,90	54,05
		31,78	13,97	11,16	43,09
		36,63	14,08	11,25	38,04
		Df	Df	Df	Df
		38,06	14,94	11,94	35,06
	4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
6	3, 4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
7,8	3, 4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df

Anhang 19: Einzeldaten für die zu verrichtenden absoluten Arbeiten (Nm/cm²) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss)

Bohrungsdurchmesser Lochscheibe (mm)	Förderdruck (bar)	Arbeit (Ncm/cm ²)				
		Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung	Gesamt
5	3	Df	Df	Df	Df	Df
		Df	Df	Df	Df	Df
		17,34	7,18	5,74	10,35	40,61
		17,27	7,18	5,74	20,60	50,79
		9,85	7,18	5,74	25,51	48,28
		11,26	7,18	5,74	28,45	52,64
		16,34	7,18	5,74	22,15	51,41
		18,69	7,18	5,74	19,41	51,02
		Df	Df	Df	Df	Df
		18,30	7,18	5,74	16,85	48,07
	4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
6	3, 4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df	6
7,8	3, 4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df	7,8

Anhang 20: Einzeldaten für die zu verrichtenden relativen Arbeiten (%) beim Scheren von Putenmuskel mittels einer Lochscheibe bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 40$ und einer Schneidgeschwindigkeit von 20 mm/s (Df = Durchfluss)

Bohrungsdurchmesser Lochscheibe (mm)	Förderdruck (bar)	Arbeit (%) von Gesamt			
		Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
5	3	23,90	17,17	13,19	45,73
		32,44	16,89	12,98	37,70
		33,94	14,28	10,97	40,81
		20,76	12,92	9,93	56,39
		27,80	13,18	10,13	48,89
		19,15	14,21	10,92	55,73
		13,19	13,62	10,46	62,73
		21,62	14,07	10,81	53,50
		17,75	12,89	9,91	59,45
		25,83	13,35	10,26	50,56
	4,5	20,75	18,72	8,36	52,16
		18,36	17,39	7,77	56,48
		17,55	18,19	8,12	56,13
		30,11	20,77	9,28	39,84
		21,09	19,61	8,76	50,54
		Df	Df	Df	Df
		34,03	20,96	9,36	35,66
		28,15	16,80	7,50	47,56
		38,32	15,44	6,89	39,35
		36,79	18,93	8,45	35,82
6	6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
6	3	19,91	25,01	16,08	39,00
		25,83	17,99	11,56	44,62
		25,18	21,88	14,07	38,87
		25,43	22,00	14,14	38,42
		33,44	23,79	15,29	27,48
		Df	Df	Df	Df
		29,58	21,76	13,99	34,67
		32,56	18,79	12,07	36,58
		25,88	21,17	13,61	39,34
		Df	Df	Df	Df
	4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
		alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
		alle Df	alle Df	alle Df	alle Df
7,8	3, 4,5, 6	alle Df	alle Df	alle Df	alle Df

Anhang 21: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	22,75	21,71	19,42
	24,56	24,56	20,76
	26,09	24,66	19,99
	25,23	21,90	19,80
	22,95	21,33	18,85
	22,28	26,37	20,76
	23,80	21,23	20,28
	24,18	25,90	18,38
	22,66	23,04	20,09
	21,42	24,66	19,99
4,5	23,90	25,80	20,09
	26,37	24,94	20,56
	29,99	25,71	23,23
	25,42	23,99	22,37
	29,32	27,90	21,42
	25,23	25,80	21,61
	25,71	25,90	22,95
	27,32	26,09	21,42
	26,94	25,61	19,23
	27,04	26,28	22,37
6	27,42	31,99	21,71
	30,09	26,18	22,95
	29,70	27,13	21,80
	25,13	29,90	24,37
	29,61	27,80	22,28
	26,75	28,28	24,56
	27,04	30,56	21,99
	28,75	31,32	22,75
	26,94	27,42	23,33
	28,56	28,18	24,28

Anhang 22: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	29,21	28,97	29,45
	27,88	27,64	24,62
	28,13	30,90	24,02
	28,13	31,63	24,38
	29,82	32,11	24,38
	29,33	32,23	23,90
	31,38	34,16	24,38
	27,76	31,99	26,80
	30,42	31,02	25,11
	28,85	31,02	25,11
4,5	32,59	35,49	26,68
	33,32	30,78	26,92
	31,99	31,87	28,37
	37,30	38,14	27,64
	33,07	40,80	30,42
	38,27	36,70	28,37
	38,14	39,83	27,76
	33,56	43,94	25,83
	40,08	40,92	31,38
	33,32	34,64	25,35
6	38,51	40,68	31,63
	42,73	Df	31,75
	39,71	62,77	30,54
	50,34	42,97	38,02
	40,32	42,97	28,85
	47,08	47,56	31,38
	38,87	39,35	28,25
	48,40	38,99	32,23
	36,58	36,45	27,04
	37,54	37,18	30,18

Anhang 23: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	28,50	32,25	26,00
	30,75	31,62	25,50
	28,62	35,00	26,12
	35,50	32,62	27,75
	30,37	37,12	24,00
	33,37	32,37	24,75
	30,37	37,12	24,37
	35,75	31,37	25,75
	32,00	35,62	26,50
	33,37	33,87	27,50
4,5	36,87	44,12	32,12
	39,37	45,62	28,50
	34,75	38,25	27,37
	39,00	35,00	26,25
	36,75	49,75	28,75
	39,12	Df	29,75
	38,12	46,00	27,37
	52,87	44,12	26,00
	35,00	48,75	27,12
	37,37	63,00	27,12
6	Df	42,62	27,75
	38,62	45,75	31,25
	40,12	54,62	30,37
	48,62	49,12	34,25
	43,75	59,25	30,62
	54,00	Df	34,75
	45,50	Df	32,75
	37,12	62,37	30,87
	47,87	53,00	29,75
	42,62	62,62	31,37

Anhang 24: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)	
	Vorzerkleinerungsgrad	
	□20	□65_D40
1,5	3,81	1,81
	3,90	3,33
	4,47	3,71
	3,43	3,71
	4,38	2,67
	4,09	4,00
	3,52	2,00
	3,24	3,33
	3,14	2,86
	3,33	3,62
3	6,85	8,28
	8,09	8,00
	9,62	8,76
	8,38	7,52
	12,95	7,43
	11,33	6,00
	7,14	7,05
	19,99	6,85
	12,09	4,95
	12,19	5,52
4,5	32,56	9,04
	23,52	8,95
	15,52	11,04
	21,14	9,81
	27,42	8,28
	14,85	9,14
	10,95	9,33
	15,99	13,52
	21,71	9,24
	18,76	12,47
6	20,95	28,09
	37,23	45,99
	27,80	19,42
	14,57	17,61
	17,14	14,85
	14,00	15,71
	15,14	16,57
	36,08	12,09
	42,08	14,38
	28,18	10,28

Anhang 25: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 4 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)	
	Vorzerkleinerungsgrad	
	□20	□65_D40
1,5	3,81	4,42
	3,90	4,78
	4,47	6,26
	3,43	4,54
	4,38	4,17
	4,09	4,66
	3,52	4,29
	3,24	4,05
	3,14	4,17
	3,33	4,66
	3	6,85
8,09		7,24
9,62		20,36
8,38		9,32
12,95		13,00
11,33		9,08
7,14		9,94
19,99		7,85
12,09		9,69
12,19		10,92
4,5		32,56
	23,52	17,66
	15,52	15,70
	21,14	21,46
	27,42	12,63
	14,85	72,00
	10,95	18,89
	15,99	17,05
	21,71	10,79
	18,76	16,93
6	alle Df	25,39
		76,54
		23,30
		36,92
		24,04
		20,85
		35,33
		67,95
		40,48
		34,71

Anhang 26: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 5 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)	
	Vorzerkleinerungsgrad	
	□20	□65_D40
1,5	7,30	5,64
	8,96	5,09
	5,97	4,65
	8,85	7,63
	6,31	5,31
	6,31	7,08
	4,98	6,64
	5,53	5,64
	5,86	3,21
	8,63	3,10
3	23,56	7,74
	27,65	9,73
	16,48	17,70
	18,92	17,48
	16,92	12,83
	15,04	12,39
	11,73	13,83
	19,03	8,41
	16,92	10,95
	37,83	14,71
4,5	31,75	21,13
	40,26	10,51
	27,10	26,44
	28,54	32,96
	31,41	46,46
	33,52	20,02
	46,35	31,97
	45,68	29,42
	31,41	24,89
	28,54	49,44
6	alle Df	alle Df

Anhang 27: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)	
	Vorzerkleinerungsgrad	
	□20	□65_D40
1,5	6,76	5,67
	8,33	4,83
	8,09	5,91
	7,48	6,04
	6,16	4,59
	6,64	4,59
	5,19	2,66
	7,00	5,79
	6,28	5,79
	7,24	5,19
3	12,43	7,36
	36,21	22,45
	27,28	13,04
	13,76	21,85
	15,09	22,93
	16,18	10,02
	11,83	12,19
	33,80	9,42
	13,76	11,83
	25,35	10,74
4,5	23,42	56,37
	23,66	38,39
	66,75	23,78
	52,27	29,82
	37,18	24,02
	28,13	28,00
	24,50	29,57
	30,78	26,19
	70,62	26,80
	19,92	28,85
6	alle Df	alle Df

Anhang 28: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Putenmuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einer Verarbeitungstemperatur von 4°C für einen Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)	
	Vorzerkleinerungsgrad	
	□20	□65_D40
1,5	8,87	6,87
	10,25	7,00
	13,62	5,50
	6,50	7,00
	7,50	4,87
	8,00	6,00
	6,75	5,87
	7,37	7,62
	6,87	7,50
	4,70	6,00
3	14,87	16,00
	15,62	10,00
	14,25	7,87
	17,12	19,75
	18,00	12,75
	30,50	14,12
	21,37	14,37
	17,75	15,50
	33,12	16,37
	32,50	17,12
4,5	alle Df	29,12
		30,62
		19,50
		24,87
		19,87
		36,87
		27,87
		26,50
		41,75
	31,62	
6	alle Df	alle Df

Anhang 29: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 3 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	22,75	21,71	19,42
	24,56	24,56	20,76
	26,09	24,66	19,99
	25,23	21,90	19,80
	22,95	21,33	18,85
	22,28	26,37	20,76
	23,80	21,23	20,28
	24,18	25,90	18,38
	22,66	23,04	20,09
	21,42	24,66	19,99
4,5	23,90	25,80	20,09
	26,37	24,94	20,56
	29,99	25,71	23,23
	25,42	23,99	22,37
	29,32	27,90	21,42
	25,23	25,80	21,61
	25,71	25,90	22,95
	27,32	26,09	21,42
	26,94	25,61	19,23
	27,04	26,28	22,37
6	27,42	31,99	21,71
	30,09	26,18	22,95
	29,70	27,13	21,80
	25,13	29,90	24,37
	29,61	27,80	22,28
	26,75	28,28	24,56
	27,04	30,56	21,99
	28,75	31,32	22,75
	26,94	27,42	23,33
	28,56	28,18	24,28

Anhang 30: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 6 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	29,21	28,97	29,45
	27,88	27,64	24,62
	28,13	30,90	24,02
	28,13	31,63	24,38
	29,82	32,11	24,38
	29,33	32,23	23,90
	31,38	34,16	24,38
	27,76	31,99	26,80
	30,42	31,02	25,11
	28,85	31,02	25,11
4,5	32,59	35,49	26,68
	33,32	30,78	26,92
	31,99	31,87	28,37
	37,30	38,14	27,64
	33,07	40,80	30,42
	38,27	36,70	28,37
	38,14	39,83	27,76
	33,56	43,94	25,83
	40,08	40,92	31,38
	33,32	34,64	25,35
6	38,51	40,68	31,63
	42,73	Df	31,75
	39,71	62,77	30,54
	50,34	42,97	38,02
	40,32	42,97	28,85
	47,08	47,56	31,38
	38,87	39,35	28,25
	48,40	38,99	32,23
	36,58	36,45	27,04
	37,54	37,18	30,18

Anhang 31: Einzeldaten für die absolute mittlere Zäpfchenlänge (mm) beim Scheren von Schweinemuskel mit einem 2-teiligen Schneidsatz bei einem Vorzerkleinerungsgrad von $\square 20$ und einem Bohrungsdurchmesser von 7,8 mm (Df = Durchfluss)

Förderdruck (bar)	mittlere Zäpfchenlänge (mm)		
	Verarbeitungstemperatur (°C)		
	4	0	-4
3	28,50	32,25	26,00
	30,75	31,62	25,50
	28,62	35,00	26,12
	35,50	32,62	27,75
	30,37	37,12	24,00
	33,37	32,37	24,75
	30,37	37,12	24,37
	35,75	31,37	25,75
	32,00	35,62	26,50
	33,37	33,87	27,50
4,5	36,87	44,12	32,12
	39,37	45,62	28,50
	34,75	38,25	27,37
	39,00	35,00	26,25
	36,75	49,75	28,75
	39,12	Df	29,75
	38,12	46,00	27,37
	52,87	44,12	26,00
	35,00	48,75	27,12
	37,37	63,00	27,12
6	Df	42,62	27,75
	38,62	45,75	31,25
	40,12	54,62	30,37
	48,62	49,12	34,25
	43,75	59,25	30,62
	54,00	Df	34,75
	45,50	Df	32,75
	37,12	62,37	30,87
	47,87	53,00	29,75
	42,62	62,62	31,37

Anhang 32: Einzeldaten für den pH-Wert der verwendeten Rohstoffe für die Serien der Technikumversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter

Serie	pH-Wert		
	S II	S IV	S VI
1	6,02	6,03	5,97
	5,86	6,10	5,99
	6,09	5,98	6,02
	5,51	6,91	6,09
	6,06	6,01	6,08
2	6,02	6,03	5,97
	6,11	6,91	6,09
	6,07	5,93	6,00
	6,05	7,02	6,05
	6,06	6,01	6,08
3	5,83	5,89	5,87
	5,81	6,15	6,21
	6,05	6,08	6,28
	6,05	5,93	6,86
	5,98	6,04	5,99
4	5,87	6,84	5,80
	5,46	6,99	5,86
	5,79	6,69	5,86
	5,55	6,51	5,84
	5,64	6,72	5,85
5	5,68	6,41	5,72
	5,69	6,81	6,25
	5,86	6,70	6,10
	5,93	6,69	6,38
	6,05	6,69	5,74
6	5,64	6,80	6,23
	5,51	6,81	6,08
	5,51	6,94	6,15
	5,48	6,71	6,08
	5,67	6,34	6,16
7	5,40	6,56	5,83
	5,40	6,49	6,58
	5,47	6,68	6,66
	5,37	6,74	6,31
	5,45	6,64	6,58
8	5,65	6,63	6,54
	5,64	6,64	6,50
	5,61	6,65	6,52
	5,65	6,66	6,63
	5,69	6,64	6,56

Serie	pH-Wert		
	S II	S IV	S VI
9	5,65	6,35	6,53
	5,62	6,76	6,58
	5,64	6,37	6,61
	5,78	6,39	6,54
	5,68	6,34	6,57
10	5,86		6,14
	5,82		6,28
	5,91		6,34
	5,80		6,23
	5,76		6,32
11	5,85		6,29
	5,68		6,45
	5,60		6,57
	5,67		6,35
	5,72		5,90

Anhang 33: Einzeldaten für den pH-Wert der in den Serien der Technikumversuche mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste

Serie	Test und Spezifika	pH-Wert	
		Wurstbrät	Bockwurst
1	1.1 End-LS Emulgiersatz 0,8 mm	6,01	5,86
		6,01	5,86
		6,00	5,80
		6,01	5,83
		6,00	5,84
	1.2 End-LS Emulgiersatz 0,8 mm	5,94	5,92
		5,94	5,78
		5,94	5,89
		5,95	5,83
		5,95	5,85
2	2.1 End-LS Emulgiersatz 1,5 mm	5,80	5,80
		5,74	5,84
		5,74	5,83
		5,80	6,09
		5,78	6,01
	2.2 End-LS Emulgiersatz 1,5 mm	5,76	6,04
		5,82	6,01
		5,78	6,02
		5,81	6,03
	2.3 End-LS Emulgiersatz 1,5 mm	5,83	6,05
		5,75	6,05
		5,76	6,05
		5,75	6,04
	2.4 End-LS Emulgiersatz 1,5 mm	5,70	6,05
		5,70	6,06
		5,71	5,78
		5,73	5,78
	2.5 End-LS Emulgiersatz 1,5 mm	5,75	5,80
		5,76	5,83
		5,82	5,84
5,76		5,86	
5,79		5,89	
		5,84	5,90
		5,84	5,80
		5,84	5,80
		5,80	6,09
		5,80	6,09

Serie	Test und Spezifika	pH-Wert	
		Wurstbrät	Bockwurst
3	3.1 End-LS Emulgiersatz 2 mm	5,83	5,92
		5,83	5,78
		5,84	5,80
		5,84	5,83
		5,82	5,88
	3.2 End-LS Emulgiersatz 2 mm	5,82	5,76
		5,81	5,78
		5,81	5,81
		5,80	6,01
		5,82	6,08
	3.3 End-LS Emulgiersatz 2 mm	5,85	6,02
		5,83	6,02
		5,84	6,03
		5,84	6,05
		5,85	6,07
	3.4 End-LS Emulgiersatz 3 mm	5,97	5,92
		5,93	5,80
		5,95	5,83
		5,95	5,84
	3.5 End-LS Emulgiersatz 3 mm	5,96	5,80
		5,86	6,09
5,85		6,02	
5,86		5,78	
3.6 End-LS Emulgiersatz 3 mm	5,86	5,80	
	5,85	5,78	
	5,85	5,80	
	5,87	6,04	
3.7 End-LS Emulgiersatz 3 mm	5,83	5,83	
	5,83	5,80	
	5,84	5,86	
	5,83	5,88	
	5,83	5,80	
		5,85	6,05
		5,83	6,02
		5,83	6,04
		5,83	6,00
		5,84	6,02

Anhang 33: Fortsetzung

Serie	Test und Spezifika	pH-Wert	
		Wurstbrät	Bockwurst
4	4.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,75	6,01
		5,74	5,87
		5,73	5,96
		5,73	5,97
		5,74	5,92
	4.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,67	5,91
		5,67	5,92
		5,64	5,91
		5,65	5,92
		5,66	5,91
5	5.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,59	5,89
		5,59	5,80
		5,63	5,86
		5,62	5,83
		5,60	5,82
	5.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,61	5,79
		5,61	5,78
		5,62	5,80
		5,62	5,78
		5,61	5,79
	5.3 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,59	5,79
		5,60	5,80
5,60		5,86	
5,61		5,86	
5,61		5,83	
6	6.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,57	5,81
		5,57	5,80
		5,56	5,80
		5,57	5,89
		5,57	5,76
	6.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,59	5,82
		5,60	5,80
		5,58	5,83
		5,59	5,83
		5,59	5,83
	6.3 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,59	5,84
		5,62	5,85
		5,60	5,84
		5,60	5,88
		5,61	5,84
7	VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,67	5,82
		5,66	5,80
		5,64	5,83
		5,69	5,83
		5,68	5,83

Serie	Test und Spezifika	pH-Wert	
		Wurstbrät	Bockwurst
8	8.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,61	6,09
		5,61	6,05
		5,62	6,09
		5,63	6,08
		5,63	6,07
	8.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,58	6,02
		5,57	6,03
		5,59	6,02
		5,59	6,01
		5,58	6,00
9	9.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,58	5,77
		5,60	5,77
		5,59	5,76
		5,57	5,78
		5,57	5,76
	9.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,57	5,79
		5,58	5,79
		5,57	5,78
		5,58	5,78
		5,58	5,79
	9.3 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,53	5,80
		5,55	5,81
5,54		5,80	
5,54		5,81	
5,53		5,82	
10	10.1 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,84	6,05
		5,80	6,04
		5,80	6,04
		5,80	6,00
		5,80	6,04
	10.2 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,80	6,02
		5,78	6,01
		5,77	6,01
		5,78	6,01
		5,78	6,02
	10.3 VS-MWDZ (sensorische Qualität)	5,79	6,02
		5,79	6,08
		5,78	6,05
		5,79	6,02
		5,78	6,07

Anhang 33: Fortsetzung

Serie	Test und Spezifika	pH-Wert	
		Wurstbrät	Bockwurst
11	11.1 - VS-MWDZ (sensorische Qualität) - Technikvergleich (FBA)	5,83	6,04
		5,79	6,04
		5,79	6,03
		5,80	6,03
		5,79	6,03
	11.2 - VS-MWDZ (sensorische Qualität) - Technikvergleich (FBA)	5,82	6,01
		5,82	6,05
		5,82	6,05
		5,83	6,04
		5,82	6,04
	11.3 - VS-MWDZ (sensorische Qualität) - Technikvergleich (FBA)	5,84	6,05
		5,82	6,05
		5,84	6,05
		5,83	6,05
		5,83	6,06
	11.4 Technikvergleich (Kutter)	5,85	6,05
		5,84	6,05
		5,84	6,06
		5,84	6,07
		5,84	6,04

Anhang 34: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für die sensorische Qualität der Bockwurst (Kaltverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbrät-automaten hergestellten Wurstbrät in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz

Bohrungsdurchmesser End-LS Emulgiersatz	Test	sensorische Qualität
0,8 mm	1	die Bindung, Zerkleinerung und Konsistenz ist aufgrund der hohen Brätbelastung ungenügend, sehr kurz
	2	die Bindung, Zerkleinerung und Konsistenz ist aufgrund der hohen Brätbelastung ungenügend, sehr kurz
1,5 mm	1	Geleeabsatz, ungleichmäßiges Schnittbild, Zerkleinerung mittelfein, Zerkleinerung zu fein, keine Bindung, große und kleine Stückchen spürbar
	2	Geleeabsatz, ungleichmäßiges Schnittbild (wolkig), Zerkleinerung mittelfein, keine Bindung, zu weich
	3	Geleeabsatz, ungleichmäßiges Schnittbild (wolkig), Zerkleinerung mittelfein, weich, Bindung besser
	4	Geleeabsatz, gleichmäßiges Schnittbild (nicht wolkig), gleichmäßige Farbe, feines Brät, weich, Bindung nicht ausreichend
	5	Geleeabsatz, gleichmäßiges Schnittbild (nicht wolkig), gleichmäßige Farbe, sehr feines Brät, weich, Bindung noch nicht ausreichend, besserer Biss und bessere Bindung als alle andere Varianten
2 mm	1	ausreichende Zerkleinerung, feinere gleichmäßige Zerkleinerung, im Biss kurz, kein Biss, gröbere Zerkleinerung
	2	ausreichende Zerkleinerung, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad, etwas zu kurz, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad
	3	ausreichende Zerkleinerung, etwas besserer Biss, etwas fester, homogener, beste Bindung
3 mm	1	nicht ausreichende Zerkleinerung, Zerkleinerung zu grob, aber gleichmäßig, feucht, guter Biss, saftig, zu grobe Zerkleinerung, bröckelig
	2	nicht ausreichende Zerkleinerung, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad, etwas zu kurz, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad
	3	nicht ausreichende Zerkleinerung, etwas gröberer Zerkleinerungsgrad, besserer Biss, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad
	4	nicht ausreichende Zerkleinerung, gleichmäßiger Zerkleinerungsgrad, beste Bindung und Zerkleinerung, saftig, gröbere Konsistenz

Anhang 35: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften von mit dem Feinbräutomaten hergestelltem Wurstbrät in Abhängigkeit vom Bohrungsdurchmesser der Endlochscheibe im Emulgiersatz

Bohrungsdurchmesser End-LS Emulgiersatz	Test	Temperaturdifferenz (vor zu nach Emulgierung, K)	Emulsionsstabilität (%)	Wasserbindevermögen (%)
0,8 mm	1	15,21 14,18 14,82	86,57 87,16	51,05 49,59
	2	15,29 15,09 16,92	85,61 86,64	50,71 49,20
1,5 mm	1	9,85 10,18 9,95	92,81 92,78	54,06 53,89
	2	9,8 9,12 8,36	92,67 93,77	54,49 54,76
	3	7,3 7,71 7,69	92,25 93,31	56,92 55,17
	4	9,8 9,82 9,72	92,72 92,50	54,37 54,37
	5	9,3 9,11 8,55	92,35 93,38	56,09 55,09
2 mm	1	13,14 11,2 10,59	92,46 90,96	56,71 56,96
	2	10,88 11,69 9,72	91,28 91,09	56,41 55,58
	3	13,19 13,37 10,97	92,08 91,58	55,33 56,29
3 mm	1	10,4 10,26 10	89,12 89,33	52,34 52,34
	2	10,34 10,02 9,35	87,65 87,15	53,67 54,45
	3	11,1 9,97 11,87	87,50 87,71	52,61 54,32
	4	8,14 9,52 8,52	88,54 88,50	51,41 52,70

Anhang 36: Einzeldaten für die Verarbeitungsbedingungen im Emulgiersatz zur Ableitung der mathematischen Kennlinie zur Herstellung von Würsten mit sensorisch guter Qualität, hergestellt aus dem mit dem Feinbrätautomaten hergestellten Wurstbrät

Qualität	Test	VS (min ⁻¹)	MWDZ (min ⁻¹)	Verhältnis VS zu MWDZ
sensorisch gut	1	40	1230	1:31
	2	40	1230	1:31
	3	40	1230	1:31
	4	50	1500	1:30
	5	30	900	1:30
	6	50	1500	1:30
	7	40	1200	1:30
	8	30	900	1:30
	9	40	1200	1:30
sensorisch schlecht	1	24	1014	1:42
	2	40	1014	1:25
	3	40	1014	1:25
	4	55	1014	1:18
	5	80	1014	1:13
	6	40	1011	1:25
	7	40	1330	1:33
	8	40	1670	1:42
	9	55	1500	1:27
	10	50	900	1:18
	11	30	1500	1:50

Anhang 37: Einzeldaten für den Gesamtwasser- und Fettgehalt in der Probe (%) der mit dem Feinbräutomaten hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten

Qualität	Test	Gesamtwasser (%)	Fett in der Probe (%)
sensorisch gut	1	57,11	27,77
		58,02	27,65
	2	58,72	
		59,26	
	3	56,05	28,13
		56,64	27,84
	4	54,57	
		55,60	
	5	55,64	
56,09			
6	58,94	29,11	
	60,03	30,24	
7	59,11		
	59,99		
8	59,76		
	60,21		
9	49,22	27,01	
	50,19	27,49	
sensorisch schlecht	1	55,82	28,71
		56,96	28,43
	2	55,90	
		56,91	
	3	59,02	27,57
		59,78	27,50
	4	56,88	
		57,48	
	5	58,47	
		58,70	
	6	47,46	29,94
48,09		29,98	
7	42,29		
	42,86		
8	54,45		
	54,74		
9	55,31	31,24	
	55,97	30,31	
10	49,80	27,68	
	50,12	27,73	
11	57,99	26,27	
	58,26	26,49	

Anhang 38: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für Aussehen, Farbe, Zusammensetzung für sensorisch gute und schlechte Qualitäten der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbrätautomaten erzeugten Wurstbrät

Qualität	Test	Aussehen, Farbe, Zusammensetzung	
		kalt	warm
sensorisch gut	1	typisch, mittelfeines bis feines Brät, homogen	typisch, mittelfeines bis feines Brät, homogen
	2	typisch, mittelfeines bis feines Brät, homogen	typisch, mittelfeines bis feines Brät, homogen
	3	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen
	4	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen
	5	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen
	6	typisch, feines Brät, homogen	typisch, feines Brät, homogen, Anschnitt leicht feucht
	7	typisch, feines Brät, homogen	typisch, feines Brät, homogen, Anschnitt leicht feucht
	8	typisch, feines Brät, homogen	typisch, feines Brät, homogen
	9	typisch, feines Brät, homogen	typisch, feines Brät, homogen, Anschnitt leicht feucht
sensorisch schlecht	1	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen, etwas gräulich
	2	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen	typisch, feines bis mittelfeines Brät, homogen, etwas gräulich, feuchte Oberfläche
	3	Zerkleinerung ungenügend	Zerkleinerung ungenügend
	4	Zerkleinerung ungenügend	Zerkleinerung ungenügend
	5	Zerkleinerung ungenügend, etwas grob	Zerkleinerung ungenügend, etwas grob
	6	typisch, feines Brät, homogen	typisch, feines Brät, homogen
	7	leicht wolkig, feines Brät	leicht wolkig, feines Brät, Anschnitt leicht feucht
	8	wolkig	wolkig, Anschnitt leicht feucht
	9	feines Brät	feines Brät, Anschnitt sehr feucht
	10	mittelfeines bis grobes Brät, grobe Bestandteile	mittelfeines bis grobes Brät, grobe Bestandteile, raue Oberfläche, Anschnitt sehr feucht
	11	zu feines Brät	zu feines Brät, etwas feuchte Oberfläche

Anhang 39: Einzelanmerkungen der Konsensprüfungen für Konsistenz für sensorisch gute und schlechte Qualitäten der erzeugten Bockwürste (Kalt- und Warmverkostung), hergestellt aus dem mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbrät

Qualität	Test	Konsistenz	
		kalt	warm
sensorisch gut	1	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig, etwas raue Oberfläche
	2	typisch, Bindung sehr gut, knackig, leicht raue Oberfläche	typisch, Bindung sehr gut, knackig, leicht etwas raue Oberfläche
	3	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	4	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	5	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	6	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	7	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	8	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig
	9	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig, etwas fettig
sensorisch schlecht	1	zu fein	zu fein, zu weich
	2	typisch, Bindung sehr gut, knackig	typisch, Bindung sehr gut, knackig, etwas schmalzig
	3	zu weich, kein Biss	zu weich, kein Biss, Bindung ungenügend
	4	zu weich, kein Biss	zu weich, kein Biss, Bindung ungenügend
	5	Bindung nicht ausreichend, bröckelig	zu weich, kein Biss, Bindung ungenügend, bröckelig
	6	Bindung nicht ausreichend	Bindung nicht ausreichend
	7	zu weich, Bindung gut	zu weich, Bindung gut
	8	gute Bindung, weich	gute Bindung, weich
	9	etwas rau, etwas weich	etwas rau, etwas weich, wässrig, raue Oberfläche, Bindung ungenügend
	10	ungleichmäßige Bindung, fest, griesig	ungleichmäßige Bindung, fest, griesig
	11	weich, etwas fettig	weich, gute Bindung, etwas kurz, leicht fettig

Anhang 40: Einzeldaten für die Farbkennwerte L, a und b der mit dem Feinbrätautomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten

Qualität	Test	Wurstbrät			Bockwurst		
		L	a	b	L	a	b
sensorisch gut	1	61,90	6,95	18,28	61,33	9,82	13,71
		62,61	6,58	17,43	62,32	9,48	13,69
		62,88	6,77	17,79	61,62	9,57	13,36
		61,84	6,84	17,86	61,99	9,11	14,00
		61,80	7,13	17,86	62,74	9,22	13,64
	2	61,84	7,32	18,57	62,03	9,15	12,82
		61,44	7,48	18,91	63,75	9,21	12,98
		61,60	7,53	18,96	63,34	9,32	13,41
		62,28	7,03	18,86	63,03	9,32	13,11
		61,85	7,07	18,63	65,04	9,56	13,18
	3	64,78	5,66	16,64	63,44	9,15	12,75
		64,76	5,81	16,71	63,59	9,00	12,20
		65,83	5,23	16,25	65,53	9,16	12,87
		65,37	5,90	16,39	64,27	8,90	12,45
		64,77	5,77	16,75	63,33	8,64	11,94
	4	66,49	5,64	16,66	63,84	8,10	12,35
		65,03	5,89	16,98	63,72	8,14	12,20
		64,59	5,96	16,69	63,92	8,68	11,91
		66,59	5,37	16,14	64,42	8,61	11,95
		65,16	5,94	16,83	64,80	8,62	11,86
	5	64,45	6,08	16,94	61,39	8,54	11,76
		63,81	6,10	16,21	62,15	9,22	12,69
		63,77	6,29	16,96	62,46	9,24	12,27
		63,80	6,11	16,34	62,31	8,68	12,27
		63,25	6,35	16,84	61,90	8,77	12,18
	6	62,31	5,90	16,87	62,12	9,24	12,47
		61,55	6,01	17,36	60,26	9,59	13,24
		61,23	6,17	17,95	62,35	9,93	13,22
		62,24	5,85	17,22	61,85	9,75	12,53
		61,62	5,99	17,02	61,97	10,31	12,69
	7	62,58	5,80	17,35	59,61	10,01	12,23
		63,48	5,45	16,70	61,85	10,39	12,89
		63,46	5,76	16,79	60,07	9,48	12,95
		62,29	6,13	17,53	60,88	9,55	12,89
		63,81	5,85	16,49	58,93	9,83	13,02
	8	63,12	5,81	17,68	59,60	9,81	12,94
		63,75	5,83	17,65	62,21	10,12	12,60
		64,50	5,46	17,04	61,99	9,72	12,44
		62,98	5,75	17,31	60,54	9,74	12,67
		63,53	5,85	17,50	59,85	9,35	12,79
	9	64,89	7,06	18,62	63,78	10,30	15,29
		62,81	7,60	20,06	62,10	10,33	14,76
		63,46	7,67	19,48	61,95	11,22	14,58
		63,54	8,02	19,86	62,25	10,32	13,62
		63,82	7,85	19,67	61,99	11,11	14,50

Anhang 40: Fortsetzung

Qualität	Test	Wurstbrät			Bockwurst		
		L	a	b	L	a	b
sensorisch schlecht	1	64,32	5,42	18,01	63,65	8,32	11,99
		64,10	5,76	18,27	63,53	7,78	11,82
		64,60	5,58	17,43	65,07	7,98	11,58
		64,39	5,97	17,99	62,97	8,01	11,89
		64,68	5,64	17,80	62,28	7,84	12,48
	2	64,04	6,42	17,28	66,28	6,26	19,35
		62,30	6,03	17,72	67,53	6,09	19,56
		62,58	5,76	17,19	66,80	6,05	19,37
		61,59	6,42	18,09	66,64	5,85	19,64
		61,97	6,12	17,80	66,16	5,92	19,48
	3	58,97	6,88	18,36	60,29	8,70	11,66
		58,46	6,51	17,73	61,15	9,02	12,25
		59,10	6,84	17,93	61,30	8,33	11,97
		58,97	7,00	17,65	60,96	9,09	12,16
		58,61	7,17	17,83	60,80	8,56	11,52
	4	60,42	6,44	17,36	61,70	8,50	11,98
		60,46	6,49	16,79	62,39	8,22	11,72
		59,84	6,32	17,40	60,91	8,27	12,02
		60,30	6,24	17,03	60,99	8,49	12,81
		60,34	6,33	17,19	61,35	8,68	12,89
	5	57,93	7,05	18,32	60,22	8,24	11,23
		59,33	6,30	16,83	61,54	8,36	11,64
		58,19	6,94	17,70	62,18	8,74	11,71
		56,56	7,20	18,31	61,27	9,03	11,98
		57,38	7,44	17,52	60,77	9,00	12,14
	6	63,67	5,74	17,76	62,33	8,30	12,10
		62,10	6,54	18,78	62,29	8,70	12,68
		63,39	6,20	18,32	62,59	8,38	12,33
		64,29	6,05	17,67	62,54	8,62	12,57
		62,94	6,70	18,56	62,69	8,11	11,81
	7	64,68	6,06	17,57	65,06	8,48	12,21
		64,03	5,98	17,78	63,54	8,35	12,42
		63,49	6,07	17,87	63,55	8,30	12,46
		63,05	6,32	17,55	63,43	7,88	12,19
		63,84	5,90	17,50	64,23	7,84	11,99
	8	65,60	5,97	17,73	65,41	8,50	12,91
		65,57	5,71	17,44	66,55	8,24	12,94
		66,31	5,92	17,49	64,19	7,84	12,37
		65,66	5,90	17,89	64,78	8,20	13,26
		65,66	6,05	17,91	65,06	7,75	12,20
	9	62,46	6,32	17,87	63,30	7,90	12,13
		61,84	6,33	17,83	62,44	8,13	12,68
		62,06	6,44	18,26	61,48	7,54	12,16
		63,70	5,98	17,19	61,69	7,57	12,48
		62,51	6,70	17,71	62,92	7,80	12,15

Anhang 40: Fortsetzung

Qualität	Test	Wurstbrät			Bockwurst		
		L	a	b	L	a	b
sensorisch schlecht	10	63,14	7,11	18,66	60,26	11,20	13,74
		62,93	7,42	18,85	60,74	11,51	14,35
		62,01	8,17	19,65	60,49	11,37	14,02
		62,20	7,98	19,17	60,58	11,97	14,31
		62,04	8,65	19,93	60,21	11,93	14,28
	11	65,22	7,84	19,34	62,96	10,86	14,45
		66,75	7,45	19,37	63,08	11,10	14,71
		66,61	7,66	18,92	62,87	11,11	14,77
		66,05	7,49	19,26	63,10	10,75	14,64
		64,92	7,74	19,39	62,64	10,69	14,40

Anhang 41: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften ES (%) und WBV (%) der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten

Qualität	Test	Emulsionsstabilität Wurstbrät (%)	Wasserbindevermögen (%)	
			Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch gut	1	98,05	57,30	49,48
		98,30	57,30	39,71
	2	98,45	59,58	46,13
		98,20	59,58	45,22
	3	98,05	56,70	49,60
		98,65	56,70	49,42
	4	97,90	56,78	46,61
		98,05	56,78	45,41
	5	97,30	55,52	47,18
97,06		55,52	49,25	
6	97,50	58,82	49,22	
	98,00	58,82	44,13	
7	97,50	57,09	53,27	
	97,50	57,09	48,22	
8	98,00	58,64	49,20	
	98,00	58,64	49,53	
9	97,91	58,26	43,09	
	97,96	58,26	42,65	
sensorisch schlecht	1	97,64	56,22	45,92
		97,84	56,22	41,24
	2	96,33	57,62	42,05
		96,61	57,62	41,22
	3	96,29	59,55	40,84
		96,49	59,55	39,62
	4	96,58	57,45	43,10
		96,34	57,45	41,47
	5	95,59	59,70	46,81
		95,60	59,70	38,46
	6	96,78	53,17	30,44
97,25		53,17	30,19	
7	97,36	54,44	30,29	
	97,44	54,44	28,53	
8	97,42	55,86	42,67	
	97,22	55,86	40,49	
9	95,46	58,88	43,24	
	95,44	58,88	40,09	
10	97,91	56,26	36,09	
	97,65	56,26	36,55	
11	97,49	57,91	47,41	
	97,91	57,91	48,17	

Anhang 42: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Textur der mit dem Feinbräutomaten erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten

Qualität	Test	Texturanalyse Bockwurst		Penetrationshärte (N/m ²)	
		maximale Scherkraft (kN/m ²)	Scherarbeit (kNm/m ²)	Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch gut	1	17,51	0,28	1611,8	6906,4
		17,04	0,31	1618,4	7535,4
		17,61	0,27	1498,7	6806,1
		17,89	0,31	1521,8	6861,5
		17,61	0,31		
	2	17,90	0,27	1595,6	6828,2
		18,14	0,30	1545,6	7044,7
		18,01	0,28	1484,6	6773,4
		17,92	0,30	1487,4	7164,4
		17,60	0,27		
	3	21,32	0,37	1438,6	8791,3
		17,80	0,29	1652,3	7521,9
		18,68	0,30	1551,7	7548,8
		18,70	0,31	1542,6	8921,4
		19,61	0,31		
	4	19,35	0,35	1385,6	7617,0
		18,30	0,33	1498,7	7033,0
		18,61	0,33	1554,7	8754,8
		20,50	0,33	1476,3	9173,5
		20,64	0,31		
	5	21,65	0,38	1628,5	9133,8
		20,61	0,37	1433,4	7521,9
		23,02	0,40	1548,6	8225,7
		24,13	0,40	1709,5	10047,2
		20,16	0,35		
	6	18,53	0,29	959,7	6288,8
		20,06	0,32	1301,2	5820,4
		19,35	0,29	1076,0	8177,9
20,05		0,35	1239,9	6542,3	
20,37		0,32			
7	21,32	0,33	1153,0	6492,0	
	20,05	0,31	1314,1	5977,1	
	21,91	0,33	907,8	6593,4	
	21,53	0,33	999,7	7044,7	
	20,54	0,33			

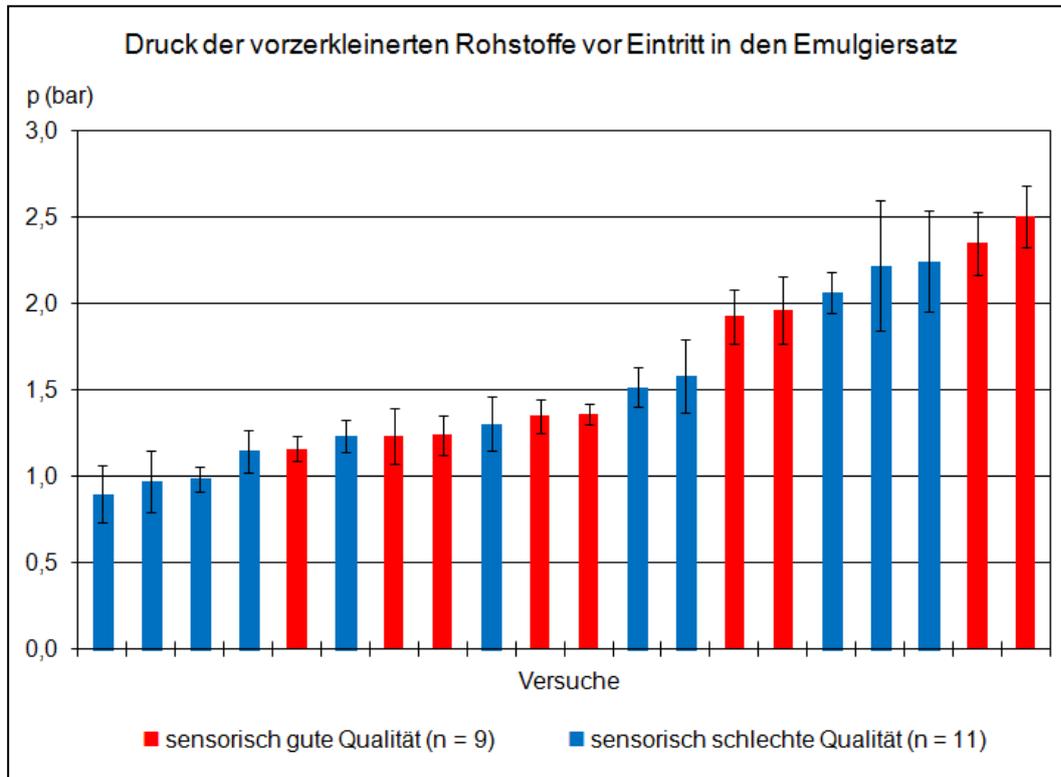
Anhang 42: Fortsetzung

Qualität	Test	Texturanalyse Bockwurst		Penetrationshärte (N/m ²)	
		maximale Scherkraft (kN/m ²)	Scherarbeit (kNm/m ²)	Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch gut	8	23,36	0,32	1012,6	6045,6
		21,99	0,36	1103,0	6655,8
		20,09	0,33	1025,7	7771,3
		21,14	0,34	1007,4	7785,6
		19,14	0,35		
	9	22,93	0,37	1189,5	7351,6
		23,35	0,38	1154,7	7976,9
		25,82	0,34	1175,3	7033,0
		20,94	0,35	1215,1	7164,4
		24,32	0,39		
sensorisch schlecht	1	18,88	0,29	948,1	7961,9
		18,33	0,28	973,9	6205,6
		16,19	0,27	918,4	6872,6
		16,07	0,28	1004,8	7104,0
		15,76	0,26		
	2	20,33	0,32	970,3	7617,0
		19,64	0,30	894,5	7377,3
		21,38	0,30	1004,8	6698,1
		18,27	0,29	1002,3	7508,5
		18,19	0,29		
	3	16,95	0,29	879,5	6784,3
		17,85	0,30	1178,8	7351,6
		17,57	0,27	1138,0	8507,7
		19,45	0,31	1158,1	6676,9
		19,42	0,30		
	4	16,79	0,27	1234,1	7508,5
		17,13	0,27	1230,2	6502,0
		15,84	0,26	1109,3	7535,4
		18,90	0,27	1156,4	7785,6
		17,77	0,28		
	5	15,62	0,26	948,1	6432,6
		19,05	0,32	973,9	7644,6
		19,08	0,31	918,4	7403,2
		18,14	0,27	1004,8	7814,5
		19,72	0,30		
	6	18,50	0,32	1090,9	8647,1
		17,81	0,30	1290,5	8177,9
		17,63	0,29	1309,8	7188,8
18,75		0,29	1284,2	8791,3	
17,42		0,31			
7	17,42	0,30	1025,7	8306,7	
	17,50	0,30	1182,3	7887,5	
	17,23	0,30	1064,4	8542,1	
	17,37	0,29	965,5	7092,1	
	17,86	0,30			

Anhang 42: Fortsetzung

Qualität	Test	Texturanalyse Bockwurst		Penetrationshärte (N/m ²)	
		maximale Scherkraft (kN/m ²)	Scherarbeit (kNm/m ²)	Wurstbrät	Bockwurst
sensorisch schlecht	8	18,02	0,29	1198,5	7056,5
		16,16	0,26	1218,8	7961,9
		17,05	0,28	1149,6	7672,4
		16,43	0,29	1357,0	8274,1
		17,19	0,30		
	9	17,40	0,30	1698,5	5943,4
		18,40	0,29	2073,0	6963,4
		17,70	0,31	1735,8	7176,5
		18,91	0,31	1836,7	7814,5
		20,11	0,31		
	10	21,72	0,36	987,2	8542,1
		21,05	0,37	987,2	8162,1
		20,54	0,34	860,3	7033,0
		19,86	0,37	963,2	7548,8
		22,55	0,36		
	11	24,94	0,44	1100,0	6502,0
		25,14	0,42	1133,1	7263,0
		26,65	0,43	1237,9	7225,7
		24,03	0,39	1120,3	6655,8
		23,80	0,39		

Anhang 43: Mittlerer Druck (bar, mit Standardabweichungen) der vorzerkleinerten Rohstoffe vor Eintritt in den Emulgiersatz des Feinbrätautomaten bei der Herstellung von Bockwürsten mit sensorisch guten und schlechten Qualitäten



Aufgrund der extrem hohen Anzahl an Einzelwerten pro Versuch (Mittelwert aus 25 Werten pro Sekunde, je nach Versuchseinstellung Messungen über 32 bis 240 Sekunden) wird von deren Darstellung Abstand genommen.

Anhang 44: Einzeldaten für den TBARS-Gehalt für die mit dem Feinbrätautomaten hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat bzw. Kutter über die Lagerzeit

Verarbeitungstechnik		TBARS (mg MDA/kg)			
		Lagerzeit			
Feinbrätautomat	MWDZ (min^{-1})	24 h	14 d	28 d	42 d
		900	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05
	1200	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	1500	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
< 0,05		< 0,05	< 0,05	< 0,05	
Kutter	2500	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
		< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Anhang 45: pH-Wert für die mit dem Feinbrätautomaten hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken Feinbrätautomat bzw. Kutter zu Beginn und am Ende der Lagerzeit

Verarbeitungstechnik		pH-Wert	
		Lagerzeit	
Feinbrätautomat	MWDZ (min ⁻¹) 900	24 h	42 d
		6,01	5,97
		6,05	5,97
		6,05	5,97
		6,04	5,96
	6,04	5,96	
	1200	6,04	5,97
		6,04	5,95
		6,03	5,95
		6,03	5,97
		6,03	5,94
	1500	6,05	5,97
		6,05	5,97
		6,05	5,96
		6,05	5,96
6,06		5,96	
Kutter	2500	6,05	5,92
		6,05	5,90
		6,06	5,92
		6,07	5,91
		6,04	5,90

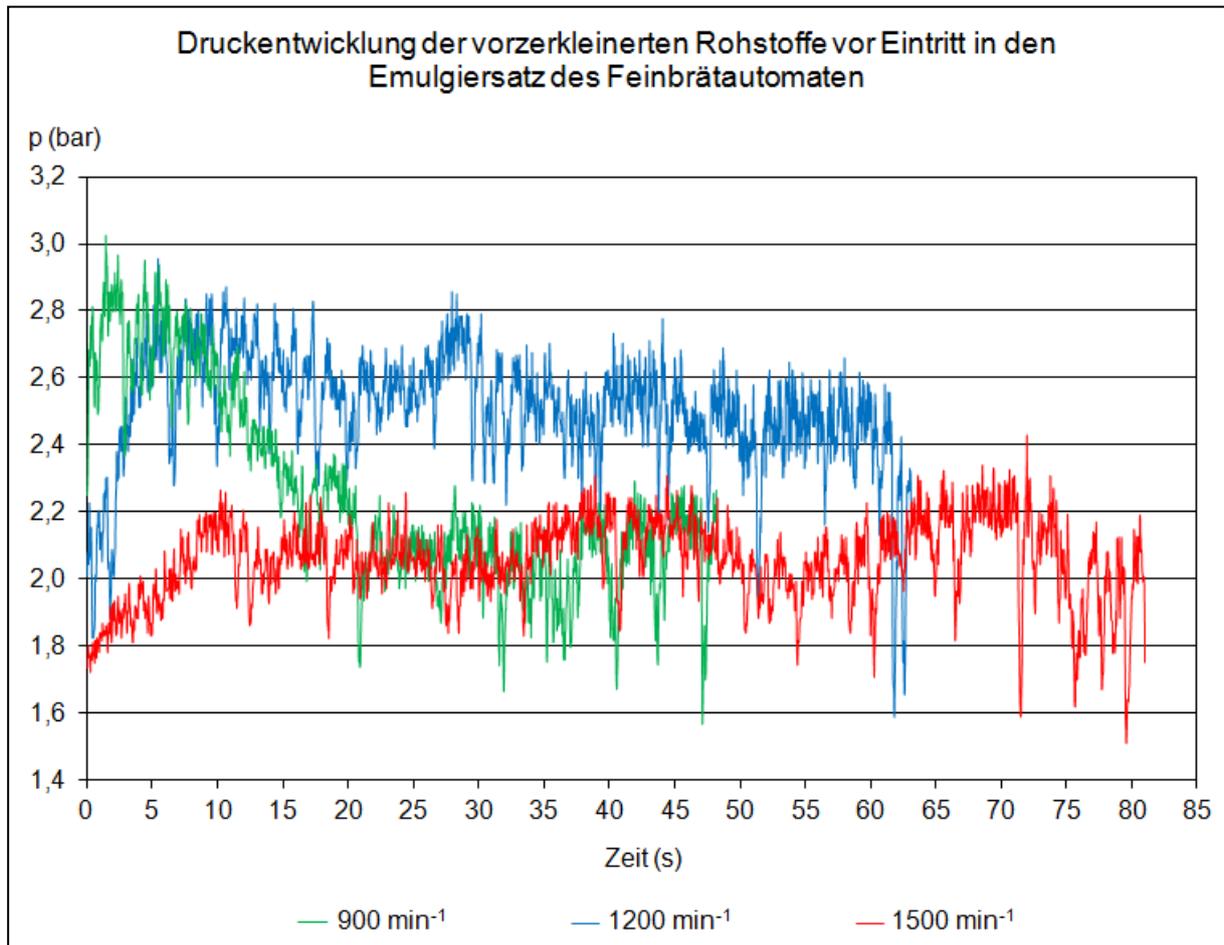
Anhang 46: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften WBV (%) und die ES (%) der mit dem Feinbrätautomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken

Verarbeitungstechnik		Wasserbindevermögen (%)		Emulsionsstabilität (%)
Feinbrätautomat	MWDZ (min ⁻¹)	Wurstbrät	Bockwurst	Wurstbrät
		900	56,26	36,09
56,26	36,55		97,65	
1200	58,26	43,09	97,91	
	58,26	42,65	97,96	
1500	57,91	47,41	97,49	
	57,91	48,17	97,91	
Kutter	2500	58,98	52,56	97,71
		58,99	50,24	98,15

Anhang 47: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Brätendtemperatur (°C) und Temperaturdifferenz (K) der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte im Vergleich der Verarbeitungstechniken

Verarbeitungstechnik		Brätendtemperatur (°C)	Temperaturdifferenz (vor zu nach Emulgierung, K)	Verarbeitungstechnik		Brätendtemperatur (°C)	Temperaturdifferenz (vor zu nach Emulgierung, K)
Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)			Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)		
Feinbräutomat	900	9,60	7,30	Feinbräutomat	1200 (Fortsetzung)	15,40	12,70
		9,60	7,30			15,40	12,70
		9,60	7,30			15,30	12,60
		9,70	7,50			15,30	12,60
		9,70	7,50			15,50	12,80
		9,70	7,50			15,50	12,80
		9,60	7,40			15,60	12,90
		9,60	7,40			15,60	12,90
		9,60	7,40			15,60	12,90
		9,50	7,40			15,80	13,20
		9,50	7,40		15,80	13,20	
		9,50	7,40		1500	23,30	21,00
		9,40	7,30			23,30	21,00
		9,40	7,30			23,30	21,00
		9,40	7,30			23,20	20,90
		9,50	7,50			23,20	20,90
		9,50	7,50			23,20	20,90
		9,50	7,50			23,10	20,80
		9,60	7,60			23,10	20,80
		9,60	7,60			23,10	20,80
		9,80	7,80			23,10	20,80
	9,80	7,80	23,20	20,90			
	9,80	7,80	23,20	20,90			
	10,00	8,00	23,20	20,90			
	10,00	8,00	23,10	20,80			
	1200	15,10	12,30	23,10	20,80		
		15,10	12,30	23,10	20,80		
		15,00	12,20	23,00	20,70		
		15,00	12,20	23,00	20,70		
		14,80	12,10	23,00	20,70		
		14,80	12,10	22,90	20,60		
		15,00	12,20	22,90	20,60		
		15,00	12,20	22,80	20,50		
15,10		12,30	22,80	20,50			
15,10		12,30	22,80	20,50			
15,10		12,30	22,80	20,50			
15,30		12,50	Kutter	2500	11,10		
15,30	12,50	11,80		11,50			
15,30	12,60	12,50		10,60			

Anhang 48: Abbildung zur Druckentwicklung der vorzerkleinerten Rohstoffe vor Eintritt in den Emulgiersatz des Feinbrätautomaten



Aufgrund der extrem hohen Anzahl an Einzelwerten pro Versuch (Mittelwert aus 25 Werten pro Sekunde, je nach Versuchseinstellung Messungen über 49 bis 82 Sekunden) wird von deren Darstellung Abstand genommen.

Anhang 49: Einzeldaten für die technologischen Eigenschaften Textur und PH der mit dem Feinbrätautomaten bzw. Kutter hergestellten Wurstbräte und Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken

Verarbeitungstechnik		Texturanalyse Bockwurst		Penetrationshärte (N/m ²)	
Feinbrätautomat	MWDZ (min ⁻¹)	maximale Scherkraft (kN/m ²)	Scherarbeit (kNm/m ²)	Wurstbrät	Bockwurst
Feinbrätautomat	900	21,72	0,36	987,2	8542,1
		21,05	0,37	987,2	8162,1
		20,54	0,34	860,3	7033,0
		19,86	0,37	963,2	7548,8
		22,55	0,36		
	1200	22,93	0,37	1189,5	7351,6
		23,35	0,38	1154,7	7976,9
		25,82	0,34	1175,3	7033,0
		20,94	0,35	1215,1	7164,4
		24,32	0,39		
	1500	24,94	0,44	1100,0	6502,0
		25,14	0,42	1133,1	7263,0
		26,65	0,43	1237,9	7225,7
		24,03	0,39	1120,3	6655,8
		23,80	0,39		
Kutter	2500	21,53	0,34	1479,6	6698,1
		19,75	0,35	1361,7	8007,2
		19,14	0,32	1457,2	7213,3
		19,45	0,32	1347,8	7056,5
		19,56	0,33		

Anhang 50: Einzeldaten für die Farbkennwerte L, a und b der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken

Verarbeitungstechnik		Farbkennwert		
Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)	L	a	b
Feinbräutomat	900	60,26	11,20	13,74
		60,74	11,51	14,35
		60,49	11,37	14,02
		60,58	11,97	14,31
		60,21	11,93	14,28
	1200	63,78	10,30	15,29
		62,10	10,33	14,76
		61,95	11,22	14,58
		62,25	10,32	13,62
		61,99	11,11	14,50
	1500	62,96	10,86	14,45
		63,08	11,10	14,71
		62,87	11,11	14,77
		63,10	10,75	14,64
		62,64	10,69	14,40
Kutter	2500	65,09	9,88	13,44
		64,92	9,99	13,96
		63,61	10,47	14,08
		63,86	10,45	14,40
		65,97	9,37	13,75

Anhang 52: Einzeldaten für den Gesamtwasser- und Fettgehalt in der Probe (%) der mit dem Feinbräutomaten bzw. Kutter erzeugten Wurstbräte und der daraus hergestellten Bockwürste im Vergleich der Verarbeitungstechniken

Verarbeitungstechnik		Gesamtwasser (%)		Fett in der Probe (%)
Feinbräutomat	MWDZ (min ⁻¹)	Wurstbrät	Bockwurst	Bockwurst
	900	56,11	49,80	27,68
		56,41	50,12	27,73
	1200	57,96	49,22	27,01
		58,55	50,19	27,49
	1500	57,78	57,99	26,27
		58,03	58,26	26,49
Kutter	2500	58,65	58,09	26,86
		59,32	58,51	27,04

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name, Vorname	Krickmeier, Janet
Geburtsdatum	20.09.1972
Geburtsort	Bernburg
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	Bundesrepublik Deutschland

Schul- und Hochschulausbildung

09/1979-07/1989	Polytechnische Oberschule, Beesenlaublingen
09/1989-11/1990	Ausbildung zum Facharbeiter für Tierproduktion mit Abitur, Halle/Saale (Umwandlung zur Gymnasialausbildung)
12/1990-07/1992	Gymnasium, Halle/Saale <i>Abschluss: Allgemeine Hochschulreife</i>
10/1992-04/1997	Studium der Ökotoxikologie an der Fachhochschule Anhalt, Bernburg, Fachbereich Landwirtschaft/Ökotoxikologie/Landespflege, Studienrichtung Ernährung <i>Abschluss: Diplom-Oekotoxikologin (FH)</i>

Wissenschaftliche Tätigkeit

09/1994-12/1994	Praktikum am Deutschen Institut für Lebensmitteltechnik e.V., Quakenbrück
04/1996-03/1997	Diplomarbeit: <i>Untersuchung der Einflüsse unterschiedlicher Rapsfuttermittelvarianten auf die Qualität von Broilerschlachtkörper-teilen</i> , Institut für Tierernährung, Halle/Lettin
05/1997-12/1997	Freie Dozentin, Volkshochschule, Bernburg
12/2000-12/2001	Wissenschaftliche Assistentin am Institut für Lebensmittel-Technik und Qualitätssicherung e.V. (ILTQ), Köthen
01/2002-12/2004	Wissenschaftliche Assistentin (Projektkoordinatorin) am Professor Hellriegel Institut e.V., Bernburg
seit 10/2004	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule Anhalt (FH), Bernburg, Fachbereich Landwirtschaft / Ökotoxikologie / Landschaftsentwicklung, Arbeitsgruppe Lebensmittel- und Ernährungsforschung

Danksagung

Ich möchte hiermit allen danken, die mich familiär, kollegial und wissenschaftlich während der Entstehungsphase diese Dissertation begleitet haben und mir immer hilfreich zur Seite standen.

Zu besonderem Dank bin ich meinem betreuenden Professor an der Hochschule Anhalt Bernburg, Herrn Prof. Dr. Wolfram Schnäckel, verpflichtet. Er trug durch seine fachliche Beratung, seinen akademischen Rat und anregenden Diskussionen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Ohne seine Anregung und Unterstützung auch in schwierigen Zeiten wäre diese Dissertation nicht entstanden.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. Wim Wätjen, welcher kurzfristig die Betreuung meiner Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät III der Agrar- und Ernährungswissenschaften, Geowissenschaften und Informatik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg übernommen und mir damit den Weg eröffnet hat, meine Promotion durchzuführen.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Peter Dültgen von der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. Remscheid (FGW). Er stellte sich freundlicherweise als Fachgutachter zur Verfügung.

An dieser Stelle sei besonders Frau Dimitrinka Schnäckel gedankt. Sie gab mir als Kollegin aber auch als Freundin Kraft in guten sowie schlechten Zeiten. Durch ihr herzliches Gemüt schaffte sie es, dass all die vielen Stunden im Labor mit mehr Leichtigkeit vergingen.

Nicht vergessen werden sollen an dieser Stelle meine Kollegen, die mir ein freundliches Arbeitsumfeld schufen, mich motivierten sowie mir hilfsbereit zur Seite standen und einen reibungslosen Ablauf meiner ungezählten Versuche ermöglichten. Danke.

Meinen Eltern und meiner Familie gebührt meine besondere Dankbarkeit für ihre Unterstützung in allen Lebenslagen und das sie immer an mich geglaubt haben. Von Herzen danke ich ihnen für ihr liebevolles Verständnis dafür, dass ich oftmals weniger Zeit mit ihnen verbringen konnte, als ich es mir gewünscht hätte.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich meine Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich erkläre an Eides statt, dass ich noch keinen Promotionsversuch zum bearbeiteten Thema unternommen habe und es wurde auch keine in der gegenwärtigen bzw. in einer anderen Fassung vorhandene Promotionsarbeit einer anderen Fakultät vorgelegt.

Mukrena, den 19.06.2014

Janet Krickmeier