

Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses

Teil 1: Modellierung der Bedingungen beim Schneiden in einer Wolfmaschine*

Von Wolfram Schnäkel, Janet Krickmeier, Oktaviani, Dimitrinka Schnäkel und Ingo Micklisch

Schlüsselwörter

- ▶ Fleischzerkleinerung
- ▶ Wolfen
- ▶ Modellbildung
- ▶ Kompression
- ▶ Reibung
- ▶ Schneiden

Eine der wichtigsten technologischen Operationen bei der Herstellung einer Vielzahl von Verarbeitungsprodukten ist die notwendige Fleischzerkleinerung, insbesondere in Fleischwölfen. In einer Wolfmaschine wird ein rotierender Scherschnitt realisiert, bei dem das Fleisch zwischen einer Schneidkante des Messers und den Kanten der Lochscheibe zerteilt wird. Ziel des vorliegenden Beitrages ist einerseits die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der zu verrichtenden Arbeiten Kompression, Reibung und Trennung beim Schneiden eines Fleischzäpfchens zwischen Messer und Kante einer Bohrung in der Lochscheibe sowie andererseits eine Umsetzung dieses Modells auf die Bedingungen in einer Wolfmaschine vorzunehmen. Die Ergebnisse

im Lochplatte-Messer-System zeigen, dass notwendige Kompression und entstehende Reibung sowohl mit zunehmendem Druck als auch mit zunehmendem Durchmesser der Bohrungen ansteigen. Für die zu leistende Verschiebungsarbeit zeigen sich erwartungsgemäß ein Anstieg mit zunehmendem Druck und eine Verringerung mit steigendem Durchmesser der Bohrungen in der Lochscheibe. Aus den vorliegenden Messreihen lässt sich schlussfolgern, dass der Anteil der eigentlichen Zerstörungsarbeit seinen höchsten Wert bei eher niedrigem Druck erreicht. Dies bedeutet, dass auch bei eher niedrigem Druck unter ansonsten konstanten Bedingungen die beste Schnittqualität erreicht wird.

Zielstellung und Stand der Technik

In der Fleischindustrie haben in den letzten Jahren erhebliche Konzentrationsprozesse stattgefunden. Dies ist nicht zuletzt auch damit zu begründen, dass die Branche unter einem erheblichen Druck steht. Das betrifft sowohl die Forderung nach höchster Qualität als auch der zunehmende Zwang zu immer weiteren Kosteneinsparungen. Da die größte Kostenposition bei allen Verarbeitungsprodukten die Rohstoff-/Energiekosten darstellt, gilt es, den biologischen Rohstoff Fleisch in maximalem Grade zu veredeln und ihn dabei möglichst schonend zu verarbeiten.

Eine der wichtigsten technologischen Operationen bei der Herstellung einer Vielzahl von Verarbeitungsprodukten ist die notwendige Fleischzerkleinerung. Dabei steht eine Reihe von traditionellen Grundverfahren zur Verfügung, wobei der Prozess des Verwolfens von Fleisch die größte Bedeutung haben dürfte.

Das Prinzip einer rotierenden Schnecke, welche Fleisch, vorbei an rotierenden Messern, in eine fest stehende Lochscheibe presst und auf diesem Wege fixiert, damit es von den Messern, deren Schneidkanten plan auf der Lochscheibe aufliegen, abgeschnitten werden kann, ist scheinbar vergleichsweise simpel (WEISS et al., 2010) und seit rund 150 Jahren bekannt.

In einer Wolfmaschine wird damit ein rotierender Scherschnitt realisiert, bei dem das Fleisch zwischen einer Schneidkante des Messers und den Kanten der Lochscheibe zerteilt wird.

In den letzten Jahren ist es zu erheblichen Leistungssteigerungen bei auf dem Markt befindlichen Maschinen gekommen (HAACK et al., 2007). Das ist auf eine Reihe technischer Innovationen bei der Modellierung der Schneckengeometrie sowie der Zuführsysteme gene-

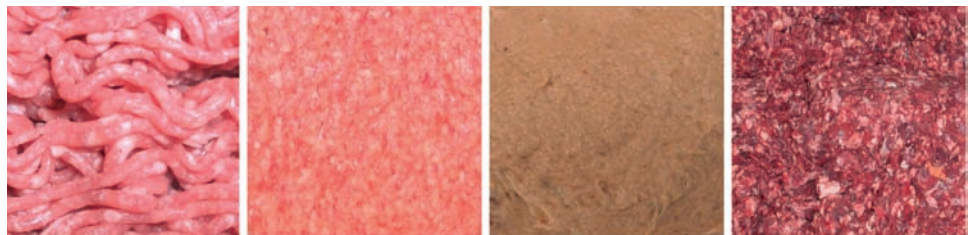


Abb. 1: Gewolfte Fleisch für jeweils verschiedene Verwendungszwecke (Hackfleisch für die Frischvermarktung, Masse zur Formung von Hamburgern, Brühwurstbrät und Rohwurstbrät, v.l.); eigene Aufnahmen aus jeweils industrieller Produktion

Fig. 1: Minced meat for different uses (minced meat for fresh sale, meat mass for production of Hamburger, meat batter for cooked sausages, minced meat for production of raw dried and fermented sausages, from left); own photos from industrial scale production

rell, als auch auf immer weiter verbesserte Schneidsätze zurückzuführen. Dies betrifft sowohl den Aufbau der Messer als auch die Anzahl und Anordnung der Bohrungen in der Lochscheibe. Verbesserte Werkstoffe und Konstruktionen ermöglichen teilweise selbstschärfende Schneidsysteme (SYROVATSKI, 2007). Trennsätze für Sehnen an der Wolfmaschine gehören heutzutage in der Regel zur Standardausrüstung (ZHAO et al., 1997).

Die Anforderungen an das gewolfte Produkt richten sich ganz wesentlich nach dem Verwendungszweck des dabei hergestellten „Hackfleisches“. Ziel des Wolfens kann es sein, Hackfleisch für den Einzelhandel herzustellen, Rohwurst- bzw. Brühwurstbrät oder auch Hackfleischmassen für Hamburger, Fleischbällchen usw. zu gewinnen (Abb. 1).

Abbildung 1 macht deutlich, dass sich die jeweiligen Zerkleinerungsprodukte nicht nur in der Rohstoffzusammensetzung sondern auch ganz wesentlich im Zerkleinerungsgrad sowie dem Schnittbild unterscheiden. Daraus ist zu schlussfolgern, dass auch die Zerkleinerungsbedingungen unterschiedlich sein müssen. Eine objektive und direkte Bewertung des Zerkleinerungsergebnisses ist bisher nur bedingt möglich. Ansätze existieren über NIR-Messungen (WARNECKE et al., 1998) oder Bildanalysen (BÖTHE et al., 2010). Die Art und Intensität der Zerkleinerung wird in der Praxis in erster Linie über

* Die vorliegende Arbeit wurde gefördert über das Zentrale Innovationsprogramm für Mittelstandsförderung (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (Projektnummer KF2020601WZ8).

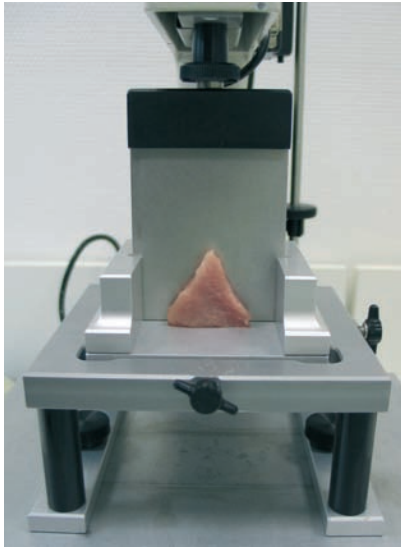


Abb. 2: Messsystem im Moment des ersten Kontaktes zwischen Produkt und Schneidwerkzeug

Fig. 2: Measurement system in moment of start of compression

den Durchmesser der Bohrungen der letzten Lochscheibe, die Form der Messer, die Anzahl der Schneidsatzteile sowie die Schnecken- bzw. Messerdrehzahl gesteuert (BAIER und HAACK, 1990). Ganz wesentlichen Einfluss auf das Zerkleinerungsergebnis haben aber auch die Schärfe von Messern und Lochscheiben sowie der Anpressdruck und die Planlage der Messer auf den Lochscheiben (LAUBER, 2003).

Diese Kenngrößen können aber die wirklichen Verhältnisse bei der Zerkleinerung nicht vollständig beschreiben bzw. erklären. Modelle für die Kräfteverhältnisse beim Schneiden bzw. Wolfen von

Fleisch oder auch anderen biologischen Materialien lassen sich in der Literatur bereits in den 50er und 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts finden z.B. ECKSTEIN (1969) und PILZ (1955).

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass beim Schneiden biologischer Materialien drei Typen an Arbeit, nämlich Kompression, Reibung und Trennung, aufgebracht werden müssen. Das plasto-elastische biologische Material wird zunächst komprimiert, ehe die inneren Bindungen aufgebrochen (destrukturiert) werden können. Bei diesem eigentlichen Trennvorgang tritt Reibung insbesondere zwischen Schneidwerkzeug und Produkt auf. Leider lassen sich in der Literatur nur vereinzelt konkrete Angaben hierzu finden (BROWN et al., 2005). Das Wissen um die Beteiligung der genannten Komponenten an der Zerkleinerung würde aber wesentliche Aussagen über die zu erwartende Schnittqualität zulassen.

Des Weiteren wäre es möglich, über eine konstruktive Gestaltung der Schneidelemente zielgerichtet Einfluss auf die Verteilung der Teilarbeiten Kompression, Reibung sowie Destrukturierung und damit auch auf den Gesamtenergieeinsatz bzw. eine mögliche Ener-

gieinsparung bei gleichzeitiger Optimierung der Produktqualität zu nehmen.

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur kontinuierlichen Feinbrätherstellung aus grobstückigem Fleisch. Dabei soll das Wolfprinzip zum Zerkleinern, Mischen und Emulgieren aller Bestandteile genutzt werden. Um dieses Ziel mit möglichst geringem Energieeinsatz erreichen zu können, erscheint es notwendig, alle wirkenden Kräfte in einer Wolfmaschine zu messen bzw. beschreiben zu können. Es muss unterschieden werden zwischen den Verhältnissen, die dabei erstens am Wirkpaar „Schneidkante Messer“ und „Kante einer Bohrung“ auftreten und zweitens den Kräften, die insgesamt in einer Schneidebene zwischen Lochscheibe und Messer wirken.

In einer Fortsetzungsreihe soll hier zunächst ein Modell zur Beschreibung der wirkenden Kräfte und der dabei zu verrichtenden Teilarbeiten entwickelt werden. Auf dieser Grundlage werden die Schneideigenschaften von verschiedenen Fleischarten bei unterschiedlichen technologischen Bedingungen (Temperatur, Schneidgeschwindigkeit, Druck usw.) beschrieben und letztendlich wird darauf aufbauend ein Verfahren zur kontinuierlichen Feinbrätherstellung entwickelt.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, einerseits die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der wirkenden Kräfte und zu verrichtenden Arbeiten beim Schneiden eines Fleischzäpfchens zwischen Messer und Kante einer Bohrung in der Lochscheibe sowie andererseits eine Umsetzung dieses Modells auf die Bedingungen in einer Wolfmaschine vorzunehmen.

Material und Methoden

Ausgehend von der Zielstellung stellt sich zunächst praktisch die Frage nach einer geeigneten Versuchs- bzw. Messvorrichtung.

Die Verhältnisse beim Schneiden eines Zäpfchens im Scherschnitt sind in gewisser Weise den Bedingungen in einer Warner-Bratzler-Schere, die häufig für Texturuntersuchungen bei Fleisch genutzt wird, gleichzusetzen, selbst wenn das zu scherende Fleisch hier in seiner Gesamtheit nicht unter Druck steht.

Abbildung 2 zeigt den typischen Versuchsaufbau für die Ermittlung von Scherkraftwerten mit Hilfe einer Warner-Bratzler-Schere. Abbildung 3 zeigt eine typische Kraft-Weg-Kurve, wie sie beim Scheren von Fleisch hierbei aufgezeichnet werden kann. Bei der Interpretation einer derartigen Kurve stellt sich die Frage, nach welchem Weg ist ein Maximum an Kompression erreicht bzw. ab welchem Punkt beginnt

der Prozess des Durchtrennens des jeweiligen Probenstücks. Wenn näherungsweise angenommen wird, dass Reibung nur zwischen dem Produkt und den Flanken des Schneidwerkzeuges entsteht, dann kann Reibung auch erst nach dem Beginn des Durchtrennens des Probenstücks auftreten. Nach Abschluss des Schneidvorgangs kann es keine Kompression mehr geben. Dies bedeutet, dass eventuell noch gemessene Kräfte ausschließlich auf Reibung zwischen dem Produkt und den Flanken des Schneidwerkzeuges zurückzuführen sind. Die Reibung stellt unmittelbar nach Abschluss des Schneidprozesses ein Maximum dar, da der Kontakt zwischen

Tab.: Verteilung der notwendigen absoluten und relativen Arbeiten beim Schneiden von Schweinefleisch mit Hilfe eines Messer-Lochscheiben-Systems (T = 4 °C)

Tab.: Necessary absolute and relative works for shearing of pork by plate-knife-system (T = 4 °C)

Bohrungsdurchmesser (mm)	Arbeitsdruck (bar)	zu verrichtende absolute Arbeit (Nm/cm²), n = 10			
		Kompression	Reibung	Zerstörung*	Verschiebung
5	3	6,96 ± 3,53	8,44 ± 2,49	14,51	11,22 ± 8,70
	4,5	14,88 ± 6,49	9,61 ± 1,78	14,51	26,64 ± 12,22
	6	26,80 ± 13,71	17,16 ± 5,71	14,51	24,47 ± 9,21
8	3	13,44 ± 3,03	10,73 ± 1,38	14,51	10,85 ± 5,41
	4,5	19,35 ± 7,70	19,08 ± 6,49	14,51	17,93 ± 11,98
Bohrungsdurchmesser (mm)	Arbeitsdruck (bar)	zu verrichtende relative Arbeit (%), n = 10			
		Kompression	Reibung	Zerstörung	Verschiebung
5	3	17,21 ± 8,58	21,32 ± 4,06	36,63 ± 6,98	24,85 ± 15,73
	4,5	22,41 ± 7,65	15,58 ± 4,75	23,51 ± 7,17	38,50 ± 12,95
	6	30,66 ± 8,95	21,90 ± 5,44	18,51 ± 4,60	28,92 ± 6,13
8	3	27,23 ± 5,98	21,93 ± 2,54	29,65 ± 3,43	21,19 ± 9,19
	4,5	27,11 ± 9,58	28,04 ± 6,32	21,32 ± 4,81	23,53 ± 13,37

* Konstante: abhängig vom verwendeten Rohstoff und dessen Faserorientierung

Quelle: SCHNÄCKEL

Fleischwirtschaft 7/2011

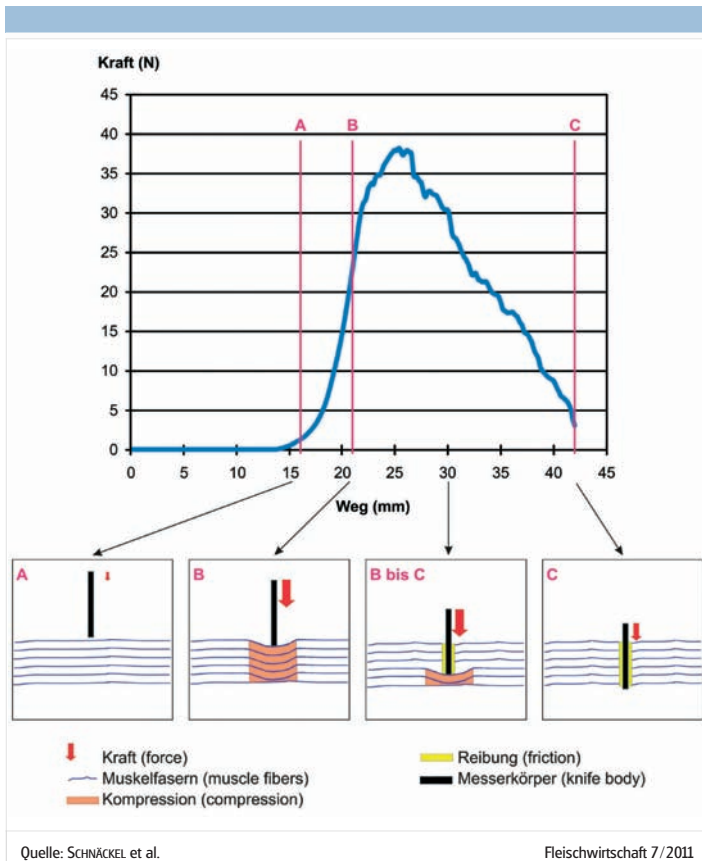


Abb. 3: Typische Kraft-Weg-Kurve beim Schneiden von Fleisch mit Hilfe einer Warner-Bratzler-Schere sowie die schematische Darstellung des Schneidprozesses

Fig. 3: Typical Force-Distance-curve for cutting of meat with Warner-Bratzler-knife and the schematic description of the cutting process

Schneidwerkzeug und Produkt hier seine maximale Größe einnimmt.

Damit stellt sich experimentell die Frage nach dem Punkt der maximalen Kompression bzw. dem Startpunkt des eigentlichen Trennvorgangs.

Als Versuchsvorrichtung wurde ein Texture-Analyser TA.XT Plus (Stable Microsystems, Surrey, UK), ausgerüstet mit einer Schneide in Dreiecksform (Warner-Bratzler-Schere), genutzt. Als Probenmaterial wurde Schweinefleisch (Oberschale) und Schweinerückenspeck verwendet. Die Temperatur des Probenmaterials wurde auf 4 °C eingestellt. Der Schnitt wurde beim Schweinefleisch so ausgeführt, dass die Muskelfasern möglichst im rechten Winkel durchtrennt wurden. Die Probenstücke waren dabei so vorbereitet, dass sie im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck mit einer Kantenlänge von 30 mm bildeten, welches zumindest theoretisch einer einheitlichen Probenhöhe von 26 mm entspricht. Die Länge der Probenstücke betrug einheitlich 40 mm. Die Vorschubgeschwindigkeit des Schneidwerkzeuges wurde auf 20 mm/s festgelegt.

Zur besseren Positionierung der Probenstücke wurde der Weg für das Schneidwerkzeug auf 42 mm festgelegt. Die Kraftaufzeichnung wurde exakt in dem Moment gestoppt, nachdem die Probenstücke durchtrennt waren (Voreinstellung). Der erste Kontakt zwischen Schneidwerkzeug und Produkt sollte also unter den gewählten Bedingungen nach einem Schneidenvorschub von 42 mm – 26 mm = 16 mm erfolgen (Abb. 3, Punkt A).

Die Probenstücke wurden nun mit zunehmendem Vorschub belastet und dabei die jeweilige Kraft-Weg-Kurve aufgezeichnet. Dabei wurde der Vorschub jeweils schrittweise um 1 mm erhöht. Visuell konnte auf diesem Wege ermittelt werden, wann sich an die reversible

Verformung durch Kompression eine irreversible Zerstörung von Fasern durch Schneiden anschließt. Es zeigte sich, dass die Zerstörung des Probenstücks durch Schneiden bei beiden gewählten Probenmaterialien am Wendepunkt der Kurve von konkav nach konvex stattfindet (Abb. 3, Punkt B). Alle Versuche wurden 10-mal wiederholt.

Es wird davon ausgegangen, dass zwischen den zu verrichtenden Arbeiten Kompression (nach Erreichen des Maximums) bzw. Reibung einerseits und der Querschnittsfläche des zu trennenden Probenmaterials andererseits eine direkte Proportionalität besteht. Der Vorschub des Schneidwerkzeuges und die Querschnittsfläche des Probenmaterials verhalten sich wie Höhe und Fläche in einem gleichseitigen Dreieck.

$$A = g \times h/2$$

Da aber im gleichseitigen Dreieck gilt:

$$h = g \times \sin 60^\circ, \text{ gilt auch: } A = h^2 / \sqrt{3}$$

A: Fläche im gleichseitigen Dreieck

g: Grundlinie im gleichseitigen Dreieck

h: Höhe im gleichseitigen Dreieck

Daraus ist zu schlussfolgern, dass die Kompressionsarbeit nach dem Erreichen ihres Maximums einer quadratischen Kurve bis zum Abschluss des Schneidvorganges (Abb. 3, Punkt C, das bedeutet Kompression wird Null) folgt. Die entstehende Reibung wiederum lässt sich auch durch eine quadratische Kurve beschreiben, bei der die Reibung zum Zeitpunkt der maximalen Kompression startet und bis zum Endpunkt des Schneidens einem Maximum zustrebt. Ausgehend von den messtechnisch erfassten maximalen Kompressions- bzw. Reibungskräften lassen sich auch die entsprechenden Kurven für den Verlauf von Kompression und Reibung exakt berechnen.

Es ist zu schlussfolgern, dass die dritte Komponente dann faktisch die notwendige Zerstörungsarbeit darstellt, die sich durch Berechnung der Fläche zwischen den Kurven für die Entwicklung der Reibungskräfte und den aufzubringenden Gesamtkräften ergibt (Abb. 4). Wie vorab bereits diskutiert, kann dieses Modell näherungsweise die Kräfteverhältnisse beim Durchtrennen eines Fleischzäpfchens beschreiben, nicht jedoch die Verhältnisse im Wolf abbilden. Beim Wolfen sind

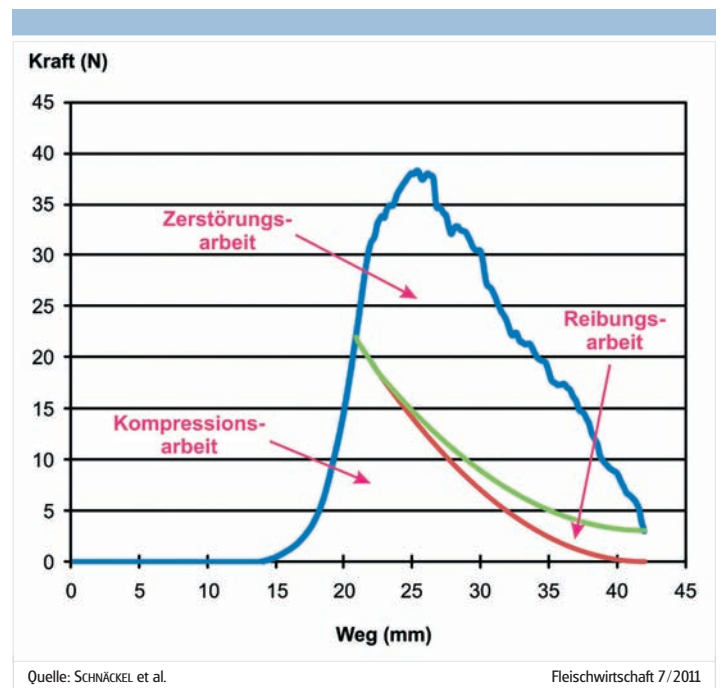


Abb. 4: Zu verrichtende Arbeiten beim Schneiden von Fleisch

Fig. 4: Necessary works for cutting of meat

zwei wesentliche zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen. Einerseits steht das zu scherende Material unter Druck, andererseits wird in einer Wolfmaschine nicht ständig ein Schnitt zwischen jeder Bohrung und dem Messerbalken realisiert. Zu einem beliebigen Zeitpunkt t_1 überstreicht der Messerbalken also ausgewählte Bohrungen, während sich das zu zerkleinernde Material unter dem Druck der Schnecke in andere Bohrungen hinein bewegt. Eventuell werden Zapfchen unter dem Druck des rotierenden Messerbalkens auch partiell wieder herausgezogen. Es treten zusätzliche Kräfte auf bzw. es muss zusätzliche Arbeit verrichtet werden. Diese zusätzliche Arbeitskomponente wird als „Verschiebungsarbeit“ bezeichnet.

Es wird von den Autoren die These aufgestellt, dass der eigentliche Wolfprozess als Summe einer Vielzahl von Einzelscherprozessen plus der genannten zusätzlichen Verschiebungsarbeit zu beschreiben ist. Die Kräfte, die an der Schnecke wirken, werden zunächst bewusst außer Acht gelassen.

Es wurde eine Versuchsvorrichtung entwickelt, bei der über eine separate Druckerzeugung Fleisch gegen eine Lochscheibe gepresst, die Lochscheibe mit den eingedrungenen Fleischzapfchen vertikal an einer rechtwinkligen Kante vorbei bewegt und die dazu notwendige Kraft bzw. Arbeit aufgezeichnet wurde (Abb. 5). Die Kraftaufnahme erfolgte mit Hilfe des Texture-Analyser TA.HD Plus (Stable Microsystems, Surrey, UK). Die Vorschubgeschwindigkeit der mit dem Kraftaufnehmer verbundenen Lochscheiben wurde auf 20 mm/s festgelegt. Die Bohrungen der quadratischen Lochscheiben sind in Reihen versetzt angeordnet (Abb. 5, links). Es wurden Lochscheiben mit Bohrdurchmesser von 5 bzw. 8 mm getestet. Die untersuchten Arbeitsdrücke (entspricht Zylinderdruck), mit denen das Fleisch in die Bohrungen der Lochscheiben geschoben wurde, waren mit 3 bar, 4,5 bar und 6 bar definiert. Als Probenmaterial wurde Schweinefleisch (Oberohr) einer Temperatur von 4 °C verwendet. Dieses war in Würfel einer Kantenlänge von etwa 40 mm vorzerkleinert. Für jede Versuchseinstellung erfolgte eine 10-malige Wiederholung.

Die Verhältnisse sind auch in dieser Versuchsvorrichtung nicht

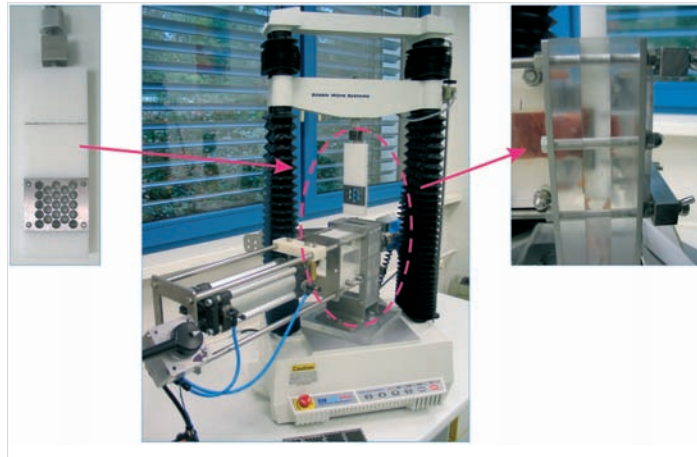


Abb. 5: Versuchsvorrichtung zur Simulation der Kräfteverhältnisse in einer Wolfmaschine

Fig. 5: Measurement equipment for simulation the conditions during mincing processes

völlig mit denen beim Wolfen zu vergleichen, da hier, im Unterschied zum Wolfprozess (kontinuierlich), ein diskontinuierlicher Messvorgang erfolgt, bei welchem zudem eine translatorische vertikale Bewegung ausgeführt wird, im Gegensatz zur rotatorischen im Wolf.

Für den Messvorgang bedeutet dies praktisch, dass beim Scheren der ersten Reihe Zapfchen diese zunächst komprimiert, danach erst geschnitten werden. Da nach einem Weg von 50% des Durchmesser der ersten Reihe Zapfchen bereits der Kompressionsvorgang für die zweite Reihe Zapfchen beginnt, kann mit ausreichender Näherung geschlossen werden, dass die

Kompressionskraft zunächst konstant bleibt, bevor sie für die letzte Reihe Zapfchen wieder auf Null absinkt. In einer realen Wolfmaschine mit rotierendem Messer dürfte die notwendige Kompressionsarbeit, welche die Messer an der Bohrung leisten, damit konstant sein und nur noch vom anliegenden Druck, der durch die Schnecke erzeugt wird, abhängen. Bei vergleichbarem Bohrbild ist also die in der vorliegenden Vorrichtung ermittelte mittlere Kompressionskraft mit der notwendigen Kompressionskraft in einer Wolfmaschine theoretisch identisch.

Für die in Abb. 5 (Mitte und rechts) gezeigte Versuchsvorrichtung ist, analog wie in der Warner-Bratzler-Vorrichtung, von einer kontinuierlichen Zunahme der Reibungskräfte auszugehen, da nachströmendes Fleisch gegen eine geschlossene Platte drückt und an dieser reibt. Für eine reale Wolfmaschine ist, in Abhängigkeit von den Eigenschaften des zu zerkleinernden Rohstoffes und dem Anpressdruck der Messer auf die Scheibe, von einer vergleichsweise konstanten Reibung auszugehen. Die Reibungsarbeit wurde in Anlehnung an BROWN et al. (2005) beim Rückhub der Lochscheibe, vorbei am geschnittenen Fleisch, gemessen.

Bei einer Auswertung der Kraft-Weg-Kurven, die in der genutzten Versuchsvorrichtung gewonnen werden, können direkt keine Aussagen zur auftretenden Verschiebungs- bzw. der notwendigen Zerstörungsarbeit abgeleitet werden. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass die Kräfte zum Zerteilen, das heißt zum Aufheben der inneren

Bindungen im Fleisch, nur vom Rohstoff abhängen, dann können die im Versuch 1 (Warner-Bratzler-Schere) gewonnenen Daten für eine mathematisch-kalkulatorische Auswertung mit ausreichender Näherung herangezogen werden. Über eine Differenzberechnung von gemessener Gesamtarbeit, berechneter Kompressions-, Reibungs- und Zerstörungsarbeit kann auf die Verschiebungsarbeit geschlossen werden.

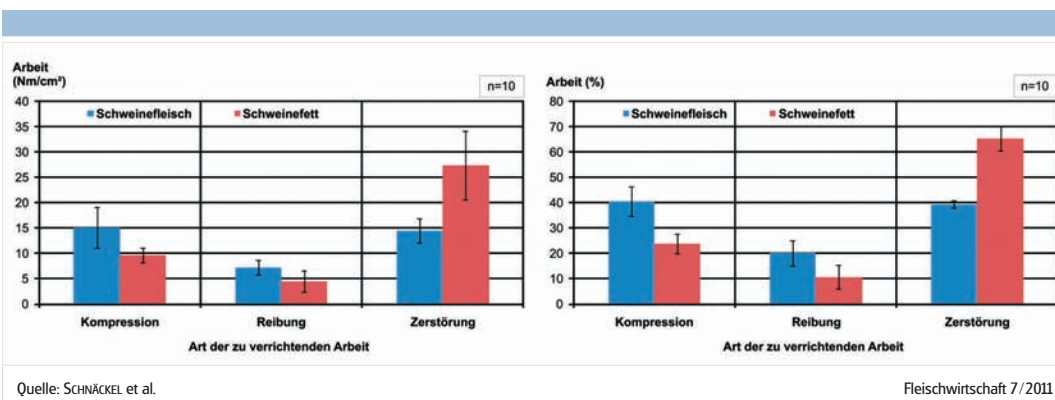


Abb. 6: Verteilung der notwendigen absoluten und relativen Arbeiten beim Schneiden von Schweinefleisch und Schweinefett mit Hilfe einer Warner-Bratzler-Schere bei einer Temperatur von 4 °C

Fig. 6: Necessary absolute and relative works for shearing of pork and fat by Warner-Bratzler-shear-equipment by sample material temperature of 4 °C

Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse aus den Scherversuchen mit

Untersuchungen zur Optimierung des Wolfprozesses

der Warner-Bratzler-Vorrichtung gezeigt. Dabei wurde bewusst eine Darstellung der absoluten Arbeiten in Nm, bezogen jeweils auf einen cm² geschnittener Fläche, und der prozentualen Anteile der Teilarbeiten vorgenommen.

Die absoluten Ergebnisse weisen vergleichsweise große Standardabweichungen auf. Die Standardabweichungen der relativen Teilarbeiten sind deutlich reduziert. Dies zeigt, dass das verwendete Probenmaterial Inhomogenitäten aufwies. Dies entspricht auch insofern den Tatsachen, dass eine Standardisierung des Probenmaterials bezüglich Rasse, Geschlecht, Ausmästungsgrad oder Reifezustand nicht vorgenommen werden konnte. Das Probenmaterial stammte von einem ortsansässigen Fleischverarbeitungsunternehmen. Interessant und wesentlich ist jedoch, dass unabhängig von den absoluten Festigkeitseigenschaften des Fleisches, die Verhältnisse beim Schneiden relativ genau abgebildet werden konnten, wofür die vergleichsweise gute Reproduzierbarkeit der Relativarbeiten im postulierten Modell spricht.

Es konnte die an sich bekannte Tatsache, dass Muskel- und Fettgewebe unterschiedliche Schneideigenschaften aufweisen, untermauert werden.

Die Ergebnisse im Lochplatte-Messer-System (Tab.) zeigen, dass die notwendige Kompression und die entstehende Reibung sowohl mit zunehmendem Druck als auch mit zunehmendem Durchmesser der Bohrungen ansteigen. Für die zu leistende Verschiebungsarbeit zeigen sich erwartungsgemäß ein Anstieg mit zunehmendem Druck und eine Verringerung mit steigendem Durchmesser der Bohrungen in der Lochscheibe.

Bemerkenswert ist, dass bei einem Bohrungsdurchmesser von 8 mm und einem Druck von 6 bar das Muskelgewebe vollständig durch die Bohrungen gepresst wird, das heißt ein Strom entsteht. Unter diesen Bedingungen war eine vergleichbare Messung der wirkenden Kräfte bzw. notwendigen Arbeit nicht möglich.

Betrachtet man die Relativarbeiten (Tab.), so zeigt sich, analog der Absolutwerte, mit zunehmendem Druck und zunehmendem Durchmesser der Bohrungen in der Lochscheibe ein Anstieg. Für die notwendige Zerstörungsarbeit kann prozentual mit zunehmendem Druck und zunehmendem Bohrungsdurchmesser eine Reduktion beobachtet werden.

Für die Reibungs- und Verschiebungsarbeit sind keine eindeutigen Trends auszumachen. Eine Erklärung hierfür kann in der nicht standardisierbaren Faserausrichtung der Fleischteile bei dieser Versuchsvorrichtung liegen. Die Klärung dieses Sachverhaltes muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Schlussfolgerungen und Bedeutung für die Praxis

Mit der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, eine Methodik zu entwickeln, mit Hilfe der es möglich ist, die notwendige Arbeit beim Scheren (Wolfen) plasto-elastischer Materialien wie z.B. Fleisch in ihre Teilkomponenten Kompression, Reibung, Zerstörung und Verschiebung zu zerlegen. Daraus können zwei wesentliche praktische Anwendungen abgeleitet werden. Einerseits ist es möglich, in Abhängigkeit vom Rohstoff bzw. dem angestrebten Zustand des zerkleinerten Endproduktes, die Verfahrensparameter besser als bisher einzuregulieren. Andererseits eröffnen sich Möglichkeiten für eine Rohstoff und Endprodukt adaptierte Gestaltung von Schneidsätzen in einer Wolfmaschine.

Aus den vorliegenden Messreihen lässt sich schlussfolgern, dass der Anteil der eigentlichen Zerstörungsarbeit seinen höchsten Wert bei eher niedrigem Druck erreicht. Dies bedeutet, dass bei tendenziell geringerem Druck unter ansonsten konstanten Bedingungen auch die beste Schnittqualität erreicht wird. Der Anteil der Verschiebungsarbeit dürfte in einer realen Wolfmaschine deutlich geringer ausfallen, da in einer Wolfmaschine mehrere Messerbalken über die Lochscheibe

laufen. Es ist auch zu schlussfolgern, dass der Anteil an Verschiebungsarbeit mit einer steigenden Länge der Messerbalken abnimmt.

Weiteren Arbeiten ist es vorbehalten, die vorliegenden Ergebnisse für unterschiedliche Rohstoffe in Abhängigkeit von Temperatur, Druck, Bohrungsdurchmesser und weiteren technologischen Faktoren zu untermauern bzw. auf ein rotierendes Messer-Platte-System umzusetzen.

Literatur

1. BAIER, A. und E. HAACK (1990): Technisch-technologische Untersuchungsergebnisse an Fleischwölfen. *Fleischwirtsch.* 70, 880–886. – 2. BÖTHE, Z., K. HERRMANN, W. BRAIG, A. BUECHELE und J. WEISS (2010): The influence of filling conditions on product quality and machine parameters in fermented coarse meat emulsions produced by continuous high shear grinding and vacuum filling. Vortrag, International Congress of Meat Science and Technology, 19.08.2010, Jeju, Korea. – 3. BROWN, T., St. J. JAMES und L. PURNELL (2005): Cutting forces in foods, experimental Measurements. *Journal of Food Engineering* 70, 165–170. – 4. ECKSTEIN, F. (1969): Gleichartigkeit mechanischer Trennvorgänge. Habilitationsschrift, Fakultät für Maschinenbau an der Technischen Hochschule Darmstadt, Carl Hanser Verlag München, 68. – 5. HAACK, E., W. SCHNÄCKEL und S. STOYANOV (2007): Der Rohstoff spielt eine Doppelrolle – Konstruktionsqualität und abgestimmte Messergeometrien ermöglichen neue Leistungsbereiche. *Fleischwirtsch.* 87 (1), 50–55. – 6. LAUBER, P. (2003): Machine for Chopping organic cut products. United States Patent No. 6, 644, 574B1, 11. November 2003. – 7. PILZ, P. (1955): Über spezielle Probleme der Zerkleinerungstechnik von Weichstoffen. *Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen*, 1955, No. 136, Forschungsinstitut der Alexanderwerk AG Remscheid, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 42. – 8. SYROVATSKI, E. (2007): Selbstschärfende Schneidpaare für Fleischwölfe. *Fleischwirtsch.* 87 (1), 92–98. – 9. WARNECKE, H. W., E. HAACK, S. GERSTETTER und R. MÜLLER (1998): Bewertung verschiedener Schneidsysteme mit der Nah-Infrarot-Analysentechnik. *Fleischwirtsch.* 78 (8), 858–863. – 10. WEISS, J., M. GIBIS, V. SCHUH und H. SALMINEN (2010): Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science* 86, 196–213. – 11. ZHAO, Y. und J. G. SEBRANEK (1997): Technology for Meat-grinding Systems to Improve Removal of Hard Particles from Ground Meat. *Meat Science* 45 (3), 389–403

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. Wolfram Schnäckel, Janet Krickmeier, Oktaviani, Dimitrinka Schnäckel und Dr. Ingo Micklisch, Hochschule Anhalt, Fachbereich 1 (Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landwirtschaftsentwicklung), Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

►► Summary

Analysis for optimisation of the mincing process

Part 1: Modelling the terms during the disintegration in meat mincers

W. Schnäckel, J. Krickmeier, Oktaviani, D. Schnäckel and I. Micklisch – Bernburg/Germany

Keywords: meat cutting | mincing | modelling | compression | friction | disintegration

One of the most important operations for production of a lot of meat products is the necessary size reduction especially in meat mincers. Mincing machines work by the principle of rotating shear process. The meat is sheared between the edge of the knife and the holes of the plate. This project develops a model, describing the forces and necessary works for compression, friction and disintegration of meat pieces during shearing. Applications of this model for conditions in mincing machines are revealed.

The results of the plate-knife-system show, that compression and friction are increasing with increasing pressure and increasing diameter of drill holes in the plate. For the strain energy an increase with increasing pressure and a decrease with increasing diameter of drill holes was found. The results show, that the relative amount of disintegration work is increasing with decreasing pressure. That means the best „quality of shearing“ can be found for lower pressure.