

## Verfahrenstechnische Prozessoptimierung des Zerkleinerungs- und Mischprozesses von Fleischmatrices unter besonderer Berücksichtigung der Messergeometrie

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle I:</b>	Max-Rubner-Institut (MRI) Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch, Kulmbach Prof. Dr. K. Troeger/PD Dr. Dr. G. F. Hammer
<b>Forschungsstelle II:</b>	Universität Erlangen-Nürnberg Department für Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. A. Delgado/Dr. C. Rauh
<b>Forschungsstelle III:</b>	Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe e.V. (IFW), Remscheid Dr. P. Dültgen/Dr. C. Pelshenke
<b>Industriegruppe:</b>	Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e.V., Bonn  Projektkoordinator: Dr. J. Wiegner, Bundesverband der Deutschen Fleischwaren- industrie e.V., Bonn
<b>Laufzeit:</b>	2008 – 2010
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 420.400,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Die Brühwurstherstellung beinhaltet im Wesentlichen zwei Schritte: Zum einen die Zerkleinerung und das Vermischen der Zutaten Muskel-, Fett- und Bindegewebe unter Zugabe von Wasser bzw. Eis, technologisch notwendigen Salzen sowie Gewürzen zu einer Fleischdispersion, dem Brät und zum anderen die thermische Behandlung des Brätes. Der erste Schritt ist neben der Zusammensetzung der Zutaten von überaus großer Bedeutung für die qualitativen Eigenschaften Biss, Wasser- und Fettbindungsvermögen sowie für die Farbe der Brühwurst. Dieser Schlüsselprozess der Brühwurstherstellung, namentlich der Kutterprozess, ist bisher aufgrund des komplexen kolloidchemischen und mechanischen Verhaltens des Produktes nur äußerst lückenhaft verstanden. Das belegen sowohl die zahlreichen unterschiedlichen Messertypen auf dem Markt, das weitestgehend empirische Vorgehen bei der Ermittlung von Geometrie- und

Prozessparametern in der Praxis, als auch die zum Teil widersprüchlichen Aussagen und Erklärungsansätze der zu beobachtenden Phänomene in der Literatur.

Von elementarem Rang für die wirtschaftlich bedeutenden Merkmale der Brühwurstbrätherstellung - Qualität, Ressourceneinsatz und zeitliche Dauer des Kutterprozesses - ist dabei die Wechselwirkung zwischen Messer und Brät, welche diese Merkmale herbeiführt. Aus technologischer Sicht stellen sich an diese Wechselwirkung insbesondere die Anforderungen nach Desintegration von Muskeleiweiß und Fett, Dispergierung von Fett, Zerkleinerung von Bindegewebe und das Vermischen der unterschiedlichen Zutaten. Hierbei sollte die mechanische Zerkleinerung derart erfolgen, dass eine weitestgehende Wasserbindung sowie ausreichend fein verteilte Fettpartikel vorliegen, und somit die anschließende thermische Behandlung nicht zum qualitätsmindernden Gelee- und Fettabsatz führt.

Dabei erfordert die hauptsächlich von Werbung und Preis gesteuerte Marktwirtschaft gerade für kleinere Unternehmen, die sich im Markt behaupten müssen, kurze Kutterzeiten sowie einen geringen Energie-, Betriebsmittel- und Personalbedarf bei hoher Qualität.

Ziel des interdisziplinären Forschungsvorhabens war es, den Kutterprozess anhand der Messergeometrie systematisch verfahrenstechnisch zu optimieren, um kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) eine fundierte Hilfestellung bei der Auswahl der Messergeometrie zu liefern.

#### **Forschungsergebnis:**

In interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Forschungsstellen auf den Gebieten der Fleischtechnologie, Rheologie, Strömungsmechanik, Messtechnik und des Werkzeugbaus konnte eine systematische Untersuchung der Wirkung der Messergeometrie und der Prozessparameter auf die Brühwurstqualität und dessen Optimierung erreicht werden. Mit Abschluss des Projektes liegt nunmehr ein physikalisch fundierter Leitfaden in Form eines neuronalen Netzes vor, der fleischverarbeitende Betriebe bei der Auswahl des optimalen Kuttermessers und der einzustellenden Prozessparameter unterstützen kann. Dieser Leitfaden hilft dem Kuttermeister, in der Praxis und für den jeweiligen spezifischen Fall eine Messergeometrie auszusuchen, welche zu einem energie- und zeitoptimierten Kutterprozess führt.

Der Kutterprozess wurde technologisch charakterisiert. Die Untersuchungen fanden für unterschiedliche Rezepturen (Rind, Rind und Schwein, Schwein), Drehzahlen der Schüssel und des Messers, Kutterendzeitpunkte sowie für unterschiedliche Messergeometrien und -anschiffwinkel statt. Detaillierte mathematische Analysen geometrischer Verhältnisse des Schneidvorgangs (Schneidwinkel) führten zu der Einführung der Größe „effektiver Anschiffwinkel“, der eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messerformen und -anschiffwinkel erlaubt. Die Auswahl der zu untersuchenden Messerformen stützte sich auf Betrachtungen zu geeigneten Messerwerkstoffen und zur Auslegung und Konstruktion der Messer basierend auf numerischen Festkörpersimulationen zur Ermittlung von Spannungsverteilungen und mechanischen Belastungsgrenzen. Dies hat wirtschaftlich eine große Bedeutung, da sich die Auslegung positiv

auf die Haltbarkeit und Sicherheit der Messer auswirkt.

Bestehende Online-Messtechniken und neu entwickelte Messtechniken und Messwerterfassungen verfolgten während der Parametervariationen des Kuttervorgangs in einem Laborkutter technologisch relevante Größen (z.B. Temperatur, Kraft, Drehmoment, Leistung, Energieeintrag, rheologisches Verhalten). Dies erforderte die Ausstattung des Laborkutters und der Messer mit einem Sensorarray online-fähiger Messtechniken, das u.a. Sensoren zur Temperatur-, Kraft- und Leistungsmessung, einen Anströmkörper und ein NIR-Spektrometer umfasst. Alle vorgesehenen Messsysteme konnten erfolgreich im Kutter getestet und deren Reproduzierbarkeit bestätigt werden. Die Quantifizierung der Brühwurstqualität geschah über eine technologische und sensorische Offline-Bewertung des Brätes und der Brühwurst (z.B. Farbe, Dichte, Festigkeit, Geleeabsatz).

Um die Aufklärung des Zusammenhangs zwischen der Qualität des Brätes und dem Schneidvorgang auf physikalische Größen (z.B. Scherung, Dehnung, Drehmoment) zu erweitern, fanden numerische Simulationen des Kuttervorgangs statt. Das zu beobachtende Brät weist ein sehr starkes nicht-Newtonsches, temperatur- und zeitabhängiges Verhalten auf. Rheologische Untersuchungen lieferten rheologische Modelle, die den Simulationen zugrunde gelegt werden konnten (z.B. Cross, Herschel-Bulkley). Die Simulationen klammerten den Schneidvorgang an sich gezielt aus und konzentrierten sich auf auftretende Strömungsvorgänge im Kutter und resultierende strömungsmechanische Belastungen auf das Brät. Diese korrelieren stark mit der Zerkleinerungswirkung der Messer. Eine Auswertung der numerischen Ergebnisse mittels dimensionsloser Größen ermöglicht eine Bündelung der Informationen auf Kenngrößen und eine Verallgemeinerung für den Scale-up der Erkenntnisse.

Eine Datenbasis fasst alle experimentellen Daten aus Online- und Offline-Messungen und alle numerisch erzielten Ergebnisse zusammen. Die Erfüllung des Ziels der Entwicklung eines Leitfadens und der Optimierung der Messergeometrie und der Prozessparameter setzte voraus, dass diese experimentelle und theoretische Datenbasis sowie vertiefte Erkenntnisse bezüglich des Prozesses und der darin ablaufenden physikalisch-chemischen Vorgänge vorlagen. Basierend auf der Datenbasis setzte die verfahrenstechnische Optimierung der Messergeometrie und der

Prozessparameter ein. Durch das Training lernfähiger, neuronaler Netze mithilfe dieser Daten entstand eine Verknüpfung der technologischen, sensorischen und (strömungs-)mechanischen Parameter. Die neuronalen Netze sind in der Lage, u.a. bei gegebener Rezeptur aus vorgegebenen Qualitätsparametern die energie- und zeitoptimale Messergeometrie und die dazugehörigen Prozessparameter (Messerdrehzahl und Schüsseldrehzahl) vorherzusagen. Diese Vorhersage bildet das Kernstück des entwickelten Leitfadens für die Praxis und soll zur Verringerung der Betriebskosten und zur Erhöhung des Durchsatzes bei hoher Produktqualität beitragen.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Menge an produzierten Wurstwaren liegt jährlich bei etwa 1,4 Mio. Tonnen mit einem Warenwert von ca. 6 Mrd. €. Dabei nehmen Brühwürste mit einer Produktionsmenge von 0,8 Mio. Tonnen und einem Warenwert von 3,2 Mrd. € einen prominenten Platz ein. Die durch den Kutterprozess geprägte Brühwurstherstellung nimmt also wirtschaftlich einen besonderen Stellenwert ein. Die fleischverarbeitende Branche, aber auch die der Maschinen- und Werkzeughersteller, ist absolut mittelständisch geprägt.

Durch den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erarbeiteten Leitfaden soll diesen Unternehmen, die in der überwiegenden Mehrzahl keine eigenen Entwicklungsabteilungen unterhalten, die Möglichkeit der Energiereduzierung bei Erhöhung des Durchsatzes bei hoher Produktqualität gegeben werden, um so im umkämpften Markt hochwertige, preisgünstige Wurstprodukte anbieten zu können. Gleichzeitig sind Ergebnisse zu erwarten, welche für die Werkzeug- und Maschinenentwickler als Basis für Weiterentwicklungen dienen, um mit neuen oder optimierten Werkzeugen und Verfahren die Anforderungen der Brühwurstproduzenten zu erreichen.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2010.
2. Hammer, G. und Stoyanov, S.: Kuttermesser – unterschiedliche Gleit- und Anschliffwinkel. *Fleischwirt.* 10, 109-116 (2011).
3. Hammer, G. und Stoyanov, S.: Geschwindigkeit von Welle und Schüssel. *Fleischwirt.* 12, 96-102 (2010).
4. Diez, L., Singh, J., Nesme, A., Nagel, M., Benning, R., Wierschem, A., Rauh, C. und Delgado, A.: Prozessanalyse und -design in der Lebensmitteltechnologie. (Posterabstract) Tagungsband 68. FEI-Jahrestagung 2010, 112-113 (2010).
5. Hammer, G.F. und Stoyanov, S.: Über das Kuttern von Brühwurstbrät I. *Fleischwirt.* 8, 107-114 (2010).
6. Stoyanov, S. und Hammer, G.F.: Zum Anschliff von Kuttermessern. *Fleischwirt.* 9, 103-105 (2010).
7. Stoyanov, S. und Hammer, G.F.: Über das Kuttern von Bratwurstbrät II: Messerbelastung und Drehmoment. *Fleischwirt* 10, 146-150 (2010).
8. Diez, L., Rauh C. und Delgado A.: Analysis and optimization of the production process of cooked sausage meat matrices. *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1281, ISBN 978-0-7354-0831-9, 1672-1675 (2010).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Max-Rubner-Institut (MRI)

Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel

Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch  
E.-C.-Baumann-Str. 20, 95326 Kulmbach

Tel.: 09221/803-276, Fax: 09221/803-343

E-Mail: klaus.troeger@mri.bund.de

Universität Erlangen-Nürnberg

Department für Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik

Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen

Tel.: 09131/85 29500, Fax: 09131/85 29503

E-Mail: antonio.delgado@lstm.uni-erlangen.de

Institut für Werkzeugforschung und  
Werkstoffe e.V. (IFW)

Berghauser Straße 62, 42859 Remscheid

Tel.: 02191/900-331, Fax: 02191/900-320

E-Mail: dueltgen@fgw.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn  
Tel.: 0228/372031, Fax: 0228/376150  
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

