

Minimal Processing in der automatisierten Feinzerlegung von Schweinefleisch

(Teilprojekt 1 im DFG/AiF-Cluster 4)

Koordinierung:	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
Forschungsstelle I:	Universität Erlangen-Nürnberg Department für Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. Antonio Delgado/Dipl.-Ing. Frauke Groß
Forschungsstelle II:	Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Quakenbrück Dr. Volker Heinz/Dr. Knut Franke
Industriegruppen:	VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen e.V., Frankfurt Verband der Fleischwirtschaft e.V. (VDF), Bonn Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e.V. (BVDF), Bonn
	Projektkoordinator: Frank Schmidt BANSS Schlacht- und Fördertechnik GmbH, Biedenkopf
Laufzeit:	2010 – 2013
Zuwendungssumme:	€ 776.200,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

Ausgangssituation:

Fleisch stellt als wichtige Proteinquelle einen wesentlichen Teil der menschlichen Ernährung dar. Händler und Verbraucher erwarten hygienisch einwandfreie, hochqualitative und nachhaltig erzeugte Produkte. Die große Verzehrmenge führt in der Erzeugung zu einem hohen Einsatz von Ressourcen. Es ist daher von allgemeinem gesellschaftlichen Interesse sowie im Sinne der Umweltschonung, diese Ressourcen sparsam und effizient einzusetzen. Diese Zielsetzung bedingt eine ganzheitliche Optimierung in der Erzeugung von Fleischwaren.

Bei der Feinzerlegung von Schweinefleisch zur Herstellung von Schinken erfolgt - im Unterschied z.B. zur Grobzerlegung - die Verarbeitung infolge mangelnder Automatisierungsmöglichkeiten derzeit hauptsächlich in manueller Form. Das betrifft insbesondere das Auslösen von qualitativ hochwertigen Fleischteilen vom Knochen. Die Fleischstücke werden durch Mitarbeiter zerteilt, die zugleich die Qualität beurteilen und

anhand dieser Beurteilung die Stücke sortieren und die weitere Verwendung festlegen. Dabei erfolgt auch eine visuelle Prüfung der Stücke bezüglich unerwünschter Gewebeveränderungen, z.B. durch Abszesse, und anderen Qualitätsfehlern. Hier gilt es, aus wirtschaftlicher Sicht und im Sinne des Verbraucherschutzes eine möglichst umfassende Gewinnung aller wertvollen Bestandteile unter möglichst geringen Verlusten bzw. Verunreinigungen, beispielsweise durch Knochensplitter, zu garantieren. Diese körperlich anstrengende Tätigkeit ist monoton und damit fehleranfällig, da immer die gleichen Schnitte ausgeführt werden müssen. Zudem erfordert die Variabilität der Einzelstücke eine jeweils individuelle Auswahl der optimalen Schnittführung. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Arbeiten aus hygienischen Gründen bei sehr niedrigen Temperaturen, in der Regel bei unter 10°C, durchgeführt werden. Eine Automatisierung der Feinzerlegung von Fleisch kann deshalb einen Beitrag zur körperlichen Entlastung des Menschen, zur Verbesserung der Le-

bensmittelsicherheit sowie zur Erhöhung der Ausbeute an Qualitätsfleisch leisten und damit letztlich zur Schonung von Ressourcen beitragen.

Ziel des [DFG-/AiF-Clusters „Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung“](#) war es daher, hierfür im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsansatzes die Grundlagen zu legen.

Ziel des Teilprojekts 1 als Projekt mit zentraler Querschnittsfunktion war es, den Prozessschritt der Fleischfeinzerlegung hinsichtlich Energieeinsatz, Produktqualität und Ressourceneffizienz im Sinne des generalisierten Minimal Processing ganzheitlich zu optimieren. Hiermit einher ging die Aufgabe der Modellierung, Simulation, Optimierung und Automation des Zerlegeprozesses. Darüber hinaus zielte dieses Vorhaben auf die Entwicklung von Tools zur Kapazitätsplanung ab. Dies geschah mittels objektbasierter Referenz-Petri-Netze, die die Produktionslogistik ganzheitlich abzubilden vermögen. Des Weiteren widmete sich dieses Teilprojekt zusätzlich der Entwicklung des Roboterkonzepts zur Bearbeitung der Fleischstücke sowie der Algorithmen zur Schnittführung.

Forschungsergebnis (Teilprojekt 1):

Durch die Möglichkeit, Datenbankeinträge aus den Petri-Netzen auszuführen und damit Zustandsänderungen der Anlage auszulösen, können Petri-Netze nicht nur zur Abbildung der Stoff- und Energieströme sowie der Simulation alternativer Prozessplanung eingesetzt werden, sondern auch direkt die Ablaufsteuerung der Anlage übernehmen. Die Netze erwiesen sich somit als ein optimales Abbildungs- und Automatisierungsmedium der in der SPS realisierten Zustandsmaschine. Der Ansatzpunkt eines ganzheitlichen Minimal Processings in der Automatisierung fußt in der Dualität der Petri-Netze als Automatisierungs- und Simulationswerkzeug. Die Netze haben Zugriff auf dieselben „Schalter“ und „Ist“-Zustände wie beispielsweise die ebenfalls entwickelte Handsteuerung (Web-Applikation) und auch die Konfigurationsparameter in der Datenbank wie Drehmomente und Motorgeschwindigkeiten. Es kann also ein Optimierungszyklus aus Simulation an der „virtuellen Anlage“ und Validierung zur Anpassung der Anlagenparameter im Sinne eines Minimal Processings durchgeführt werden.

Bezüglich der tatsächlichen Zerlegung des Schinkens wurden die Simulationen der Roboterbewegungen am realen Schinken getestet. In der Erprobungsphase wurden die für jeden Schinken individuell erforderlichen Schnittbahnen, die sich jeweils aus der äußeren Form und der Lage der Knochen und Faszien ergeben, aus den Daten der Computertomographie ([Teilprojekt 6](#)) für einzelne Schinken berechnet.

Die Koordinaten für die Bewegung des Roboters wurden entsprechend den Schnitten entlang der Knochen bestimmt und die Roboterbewegungen ausgeführt (zum Beispiel Freischneiden des unteren Bereichs des Schlossknochens). Analog wurden darüber hinaus weitere Schnitte, die für die Zerlegung des Hinterschinkens in die wertgebenden Teile Ober- und Unterschale, Nuss und Hüftstück erforderlich sind, als Bewegungen des Roboters programmiert und die Zerlegung zunächst stückweise umgesetzt.

Forschungsergebnis (Gesamtcluster):

Im Rahmen des Clusters wurden die Grundlagen für eine automatisierte Fleischverarbeitung mittels Roboter geschaffen. Es wurde ein Diagnoseinstrumentarium entwickelt, das die dreidimensionale Online-Erfassung der äußeren Schinkentopologie, der Lage von Knochen und Faszien sowie die Detektion von Fleischimperfectionen (wie Abszessen) umfasst. Dazu dienen - auch algorithmisch - hochentwickelte bildgebende Verfahren. Mit dem erstmaligen Einsatz der Raman-Spektroskopie kommt ein nicht-invasives, optisches Charakterisierungswerkzeug zum Einsatz, dessen Potentiale in der Lebensmittelverarbeitung bisher völlig unerkannt geblieben sind. Diese Technik erwies sich als probate Diagnose- und Prognosemethode für Größen, wie pH-Wert, Fleischqualität, Tropfsaftverlust) und Fleischfestigkeit. Als weiteres nicht-invasives Diagnoseverfahren wurden Fluoreszenzmethoden zur Bestimmung des Hygienezustandes des Fleisches und der Zerlegebox eingesetzt.

Ebenfalls in der Fleischwirtschaft erstmalig eingesetzte Referenz-Petri-Netze (RPN) bilden den informationstechnologischen Kern der automatisierten, roboterbasierten Feinzerlegung. Sie bieten die Möglichkeit, die Komplexität des Zerlegungsprozesses zu modellieren, zu simulieren und im Sinne eines generalisierten Minimal Processings zu optimieren. Dabei berücksichtigen die RPN so unterschiedliche Informationen wie den minimalen Energieeinsatz und die optimale Schnittbahnführung für den Roboter sowie die

Fleischqualität und das HACCP-Konzept andererseits.

Wirtschaftliche Bedeutung:

In Deutschland wurden im Jahr 2012 ca. 8,77 Mio. t Fleisch (davon ca. 5,5 Mio. t Schweinefleisch) erzeugt. Die Anzahl der Schlachtungen lag bei Schweinen bei 58,2 Mio. Tieren. In der Schlachtung (ohne Geflügel) und in der Fleischverarbeitung waren 2012 ca. 83.000 Beschäftigte in 1.260 Betrieben tätig. Der Umsatz der Branche betrug 36,7 Mrd. €.

Die Ergebnisse des Clustervorhabens sind nicht nur für die fleischverarbeitende Industrie von Relevanz, sondern gleichermaßen für den Maschinenbau und die Hersteller von Sensoren sowie von Informations- und Automatisierungstechnik. Die Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinenindustrie gehört mit einem Produktionsvolumen von 11,4 Mrd. € (2012) zu den größten Fachzweigen im deutschen Maschinenbau. 600 Unternehmen mit etwa 58.000 Beschäftigten sind in diesem Sektor tätig. Dabei stellt der Fleischverarbeitungsmaschinenbau mit einem Produktionsvolumen von 845 Mio. € die größte Teilbranche dar. Die Bedeutung dieser Teilbranche zeigt sich auch darin, dass ihr Welt-handelsanteil bei über 30 % liegt.

Die Erarbeitung einer neuartigen Zerlegetechnik für Fleisch, inkl. der Entwicklung der dazu notwendigen Sensor- und Automatisierungstechnik, bietet den Unternehmen dieser Branche die Chance, ihre Marktstellung durch innovative Produkte zu sichern und auszubauen.

Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2014.
2. [Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung - Zentrale Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. \(Hrsg. FEI\). ISBN 978-3-925032-52-3 \(2014\).](#)

3. Delgado, A. et al.: Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung - Zentrale Ziele und Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. Rundsch. Fleischhyg. Lebensmittelüberw. 66, 262-266 (2014).
4. Delgado, A., Heinz, V., Xie, Q., Franke, K., Groß, F., Hupfer, S. und Nagel, M.: Automatisiertes Minimal Processing in der roboterbasierten Feinerlegung von Schweinefleisch. Fleischwirt. 93 (6), 170-174 (2013).
5. Durek, J., Becker, T., Bolling, J., Diepolder, H., Heinz, V., Hitzmann, B., Majschak, J.-P., Schlüter, O., Schmidt, H., Schwägele, F. und Delgado, A.: Minimal Processing an automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung. Eine Fallstudie am Beispiel der Feinerlegung von Schweinefleisch (Schinken). Fleischwirt. 91 (4), 102-105 (2011).

Weiteres Informationsmaterial:

Universität Erlangen-Nürnberg
 Department für Chemie- und Bioingenieurwesen
 Lehrstuhl für Strömungsmechanik
 Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen
 Tel.: +49 9131 8529-500
 Fax: +49 9131 8529-503
 E-Mail: antonio.delgado@lstm.uni-erlangen.de

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL)
 Prof.-von-Klitzing-Str. 7, 49610 Quakenbrück
 Tel.: +49 5431 183-228
 Fax: +49 5431 183-200
 E-Mail: v.heinz@dil-ev.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
 Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn
 Tel.: +49 228 3079699-0
 Fax: +49 228 3079699-9
 E-Mail: fei@fei-bonn.de

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

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.